

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 304 VE 430 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPILARINA,
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA SOĞUK
DEFORMASYONUN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tahir OSMANOĞLU

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 304 VE 430 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPILARINA,
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA SOĞUK
DEFORMASYONUN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tahir OSMANOĞLU
(506101225)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN

TEMMUZ 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101225 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Tahir OSMANOĞLU'nun**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**AISI 304 VE 430 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPILARINA, MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA SOĞUK DEFORMASYONUN ETKİLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

.....
Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

.....
Yrd. Doç. Dr. C. Fahir ARISOY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **21 Haziran 2012**
Savunma Tarihi : **25 Temmuz 2012**

Aileme ve tüm sevdiklerime,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yönetimini üstlenen, çalışmalarım sırasında değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, yapıcı ve öğretici desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve her türlü laboratuvar olanaklarını kullandıran, saygıdeğer hocam Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda zaman zaman göstermiş olduğu çok değerli öneri ve tecrübelerinden faydalandığım saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. C. Fahir ARISOY'a teşekkür ederim.

Deneylerde bilgileriyle bana destek olduğu için Arş. Gör. F. Erdem ŞEŞEN'e de çok teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi fedakârlıktan kaçınmayarak bana destek olan sevgili aileme, bana hep doğru yolu gösterdikleri ve beni bugünlere kadar getirdikleri için teşekkür ederim.

Haziran 2012

Tahir OSMANOĞLU
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Özeti	3
2. PASLANMAZ ÇELİKLER	7
2.1 Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi	8
2.2 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri	8
2.3 Paslanmaz Çeliklerin Alaşım Elementleri ve Metalurjik Etkileri	9
2.3.1 Karbon (C)	9
2.3.2 Azot (N)	9
2.3.3 Alüminyum (Al)	10
2.3.4 Molibden (Mo).....	10
2.3.5 Niyobyum (Nb).....	10
2.3.6 Krom (Cr)	10
2.3.7 Silisyum (Si)	10
2.3.8 Nikel (Ni).....	11
2.3.9 Kükürt, fosfor ve selenyum (S, P ve Se).....	11
2.3.10 Kobalt (Co)	11
2.3.11 Bakır (Cu)	11
2.3.12 Tungsten (W)	11
2.3.13 Titanyum (Ti).....	11
2.4 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması	12
2.4.1 Östenitik paslanmaz çelikler	12
2.4.1.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları	13

2.4.2 Ferritik paslanmaz çelikler	15
2.4.3 Ferritik - östenitik (dubleks) paslanmaz çelikler	15
2.4.4 Martenzitik paslanmaz çelikler	16
2.4.5 Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler	16
2.5 Paslanmaz Çeliklerin Üretimi.....	17
2.6 Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri	19
2.7 Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri.....	20
2.8 Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Özellikleri	21
2.8.1 Genel korozyon	21
2.8.2 Aralık korozyonu	21
2.8.3 Taneler arası korozyon.....	22
2.8.4 Çukurcuk korozyonu.....	22
2.8.5 Gerilmeli korozyon	22
2.9 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	23
2.9.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti	24
3. PLASTİK DEFORMASYONUN GENEL İLKELERİ	29
3.1 Deformasyonun Mekanizması	29
3.1.1 Kayma	29
3.1.1.1 Kritik kayma gerilmesi.....	30
3.1.2 İkizlenme.....	30
3.1.3 Tane sınırlarının kayması.....	31
3.1.4 Yayınma sürünmesi	31
3.2 Malzeme Mekanik Özelliklerinin Şekillendirmeye Etkisi	31
3.3 Soğuk Şekillendirme Yoluyla Mukavemet Artışı	32
3.3.1 Toparlanma	34
3.3.2 Yeniden kristalleşme.....	35
3.3.3 Tane büyüklüğü	35
3.4 Deformasyon Oranı	36
4. AISI 304 VE 430 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLER	37
4.1 AISI 304 Kalite Östenitik Paslanmaz Çelik	37
4.1.1 Genel özellikler (304)	37
4.2 AISI 430 Kalite Ferritik Paslanmaz Çelik	38
4.2.1 Genel özellikler (430)	38
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	39
5.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	40
5.3 Deneylerin Yapılışı.....	42

5.3.1 Metalografik inceleme deneyleri	42
5.3.2 Mikro sertlik ölçme deneyleri	42
5.3.3 Çekme testleri	42
5.3.4 Soğuk deformasyon işlemleri	43
5.3.5 Isıl işlem deneyi	43
5.3.6 Korozyon deneyi	43
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	45
6.1 Metalografik Çalışma Sonuçları	45
6.2 Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları	46
6.3 Çekme Testlerinin Sonuçları	46
6.4 Basma İşlemi ile Sağlanan Deformasyon	47
6.4.1 Basma işlemi sonrası metalografik çalışma sonuçları	48
6.4.2 Basma işlemi sonrası sertlik sonuçları	50
6.4.2.1 AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası boyuna kesitinin sertlik analizi	51
6.4.2.2 AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası enine kesitinin sertlik analizi	52
6.4.2.3 AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası boyuna kesitinin sertlik analizi	53
6.4.2.4 AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası enine kesitinin sertlik analizi	54
6.5 Çekme İşleminin Sonuçları	56
6.5.1 Çekme işlemi sonrası metalografik çalışma sonuçları	57
6.5.2 Çekme işlemi sonrası sertlik sonuçları	60
6.5.2.1 Çekme işlemi sonrası AISI 304 için sertlik sonuçları	61
6.5.2.2 Çekme işlemi sonrası AISI 430 için sertlik sonuçları	63
6.6 Isıl İşlem Sonuçları	65
6.7 Korozyon Sonuçları	66
6.7.1 AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik için korozyon analizi	67
6.7.2 AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelik için korozyon analizi	69
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute
KYM	: Kübik Yüzey Merkezli
KHM	: Kübik Hacim Merkezli
HV	: Vickers Sertliği
HRB	: Rockwell Sertliği
MPa	: Megapascal
EAF	: Electric Arc Furnace
AOD	: Argon Oxygen Decarburization
Cr_{eş}	: Krom Eşdeğeri
Ni_{eş}	: Nikel Eşdeğeri

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Östenitik paslanmaz çeliklerin tipik uygulama alanları	14
Çizelge 2.2 : AOD yönteminde üretim aşamaları.....	18
Çizelge 2.3 : Paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin normal çeliklerin karşılaştırılması	20
Çizelge 4.1 : AISI 304'ün mekanik özellikleri.....	37
Çizelge 4.2 : AISI 430'un mekanik özellikleri.....	38
Çizelge 5.1 : AISI 304 ve 430 paslanmaz çeliklerin standartlarda verilen kimyasal bileşimleri ve yapılan kimyasal analizlerin sonuçları.....	39
Çizelge 5.2 : Deneylerde kullanılan AISI 304 ve 430 paslanmaz çeliklerin Cr ve Ni eşdeğerleri	40
Çizelge 6.1 : Deforme edilmemiş AISI 304 ve 430'un sertlik değerleri	46
Çizelge 6.2 : AISI 304 ve 430'a uygulanan çekme testlerinin sonuçları.....	46
Çizelge 6.3 : AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin boyuna kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.....	51
Çizelge 6.4 : AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin enine kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.....	52
Çizelge 6.5 : AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin boyuna kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.....	53
Çizelge 6.6 : AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin enine kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.....	54
Çizelge 6.7 : Farklı deformasyon oranlarındaki AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri	64
Çizelge 6.8 : Isıl işlem öncesi ve sonrası AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri	66
Çizelge 6.9 : AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin tavlanmış haldeki sertlikleri ile farklı deformasyon oranlarındaki sertliklerinin karşılaştırılması	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : % 12 krom içeren ferritik bir mikroyapı	3
Şekil 1.2 : AISI 304'e uygulanan a) % 10 deformasyon, b) % 40 deformasyon, c) % 50 deformasyon sonrası mikroyapı görüntüleri	4
Şekil 1.3 : 304L kalite paslanmaz çeliğin soğuk deformasyon oranına bağlı olarak sertlik değişimi	4
Şekil 1.4 : 304L kalite çeliğin % 90 soğuk deformasyona uğratılmış ve uğratılmamış hali arasındaki gerilim-gerinim farkı	5
Şekil 2.1 : İnce krom oksit tabakası paslanmaz çeliğin korozyon direncinin kaynağıdır	7
Şekil 2.2 : Bazı paslanmaz çelik türlerinin mikroyapıları	12
Şekil 2.3 : Paslanmaz çeliklerin üretim şeması	17
Şekil 2.4 : Schaeffler Diyagramı	25
Şekil 2.5 : De Long Diyagramı	26
Şekil 2.6 : WRC-92 Diyagramı	27
Şekil 3.1 : (a) Soğuk deformasyon öncesi, (b) Soğuk deformasyon sonrası mikroyapılar	33
Şekil 3.2 : Soğuk işlem oranının mekanik özelliklere etkisi	34
Şekil 3.3 : Soğuk işlem oranının ve soğuk işlem sonrası tavlama sıcaklığının mekanik özellik ve mikroyapıya etkisi, (a) Soğuk işlem görmüş, (b) Toparlanma sonrası, (c) Yeniden kristalleşme sonrası ve (d) Tane büyümesi sonrası	36
Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan AISI 304 ve 430'un Schaeffler diyagramındaki bölgeleri	40
Şekil 5.2 : Basma ve çekme cihazı	41
Şekil 5.3 : Elektrik dirençli fırın	41
Şekil 5.4 : Elektrolitik dağlama düzeneği	42
Şekil 6.1 : AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri: (a) Literatürden alınmış mikroyapı görüntüsü. (b) Metalografik olarak hazırlanan mikroyapı görüntüsü	45
Şekil 6.2 : AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri: (a) Literatürden alınmış mikroyapı görüntüsü. (b) Metalografik olarak hazırlanan mikroyapı görüntüsü	45
Şekil 6.3 : Basma işlemi öncesi ve sonrası paslanmaz çelik görüntüleri	47
Şekil 6.4 : Basma işlemi sonrası enine ve boyuna kesilmiş paslanmaz çelik numunelerin bakalıte alınmış görüntüleri	48
Şekil 6.5 : Basma işlemi sonrası enine ve boyuna kesilen AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri	48
Şekil 6.6 : Basma işlemi sonrası enine ve boyuna kesilen AISI 430 kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri	49
Şekil 6.7 : AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin basma işlemi ve öncesi sonrasında elde edilen mikroyapı görüntülerinin karşılaştırılması	50
Şekil 6.8 : Basma işleminde AISI 304 ve 430 için sertlik ölçümü doğrultuları	51

Şekil 6.9 : Boyuna kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi	51
Şekil 6.10 : Boyuna kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi.....	52
Şekil 6.11 : Enine kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi	52
Şekil 6.12 : Enine kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi	53
Şekil 6.13 : Boyuna kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi	54
Şekil 6.14 : Boyuna kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi	54
Şekil 6.15 : Enine kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi	55
Şekil 6.16 : Enine kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi	55
Şekil 6.17 : Basma işlemi sonrası çap boyunca ölçülen AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değişimleri	56
Şekil 6.18 : Çekme işlemi sonrası paslanmaz çelik çubuktaki değişim.....	57
Şekil 6.19 : Çekme işlemi sonrası boyuna kesiti alınan paslanmaz çelik çubuğun bakalite alınmış hali	57
Şekil 6.20 : Çekme işlemi sonrası metalografik inceleme yapılan bölgeler	58
Şekil 6.21 : Çekme işlemi sonrası farklı deformasyon oranlarındaki AISI 304'ün mikroyapı görüntüleri	58
Şekil 6.22 : Çekme işlemi sonrası farklı deformasyon oranlarındaki AISI 430'un mikroyapı görüntüleri	59
Şekil 6.23 : AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin orijinal ve çekme sonrası mikroyapı görüntülerinin karşılaştırılması	60
Şekil 6.24 : Çekme işleminden sonra farklı sertlik ölçme doğrultuları	61
Şekil 6.25 : AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin merkez doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi	61
Şekil 6.26 : AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeye yakın doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi	62
Şekil 6.27 : AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin merkez doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi	63
Şekil 6.28 : AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yüzeye yakın doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi	64
Şekil 6.29 : Isıl işlem öncesi ve sonrası AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik mikroyapı görüntüleri	65
Şekil 6.30 : AISI 304'ün orijinal halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları....	67
Şekil 6.31 : AISI 304'ün çekme işlemine uğramış halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları	68
Şekil 6.32 : AISI 430'un orijinal halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları....	69
Şekil 6.33 : AISI 430'un çekme işlemine uğramış halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları	70
Şekil 7.1 : Çelik bir silindirde homojen olmayan şekil değişimi.....	72
Şekil 7.2 : AISI 304'ün çekme işlemi sonrası merkezinden ve yüzeye yakın bölgesinden ölçülen sertlik değerleri	73

SEMBOL LİSTESİ

E	: Elastisite Modülü
Kn	: Kilonewton
Gf	: Gram-force
M	: Molar
A	: Amper
γ	: Östenit
α'	: Şekil Değişirme Martenziti
V	: Voltaj
n	: Pekleşme Üssü
r	: Anizotropi Katsayısı
m	: Şekil Değişim Hızı Duyarlılığı
μm	: Mikrometre
α	: Ferrit
Ω	: Elektrik Direnci
λ	: Isıl İletkenlik
δ	: Delta Ferrit
σ	: Sigma Fazı
σ_p	: Plastik Deformasyon Gerilmesi
σ_i	: Sürtünme Gerilmesi
G	: Kayma Elastiklik Modülü
b	: Burgers Vektörü
ρ	: Dislokasyon Yoğunluğu

AISI 304 VE 430 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLERİN MİKROYAPILARINA, MEKANİK ÖZELLİKLERİNE VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA SOĞUK DEFORMASYONUN ETKİLERİ

ÖZET

Son yıllarda, ülkemizde paslanmaz çeliklere olan gereksinim her geçen gün artmaktadır. Paslanmaz çelikler sağladıkları korozyon direnciyle, endüstrinin neredeyse her alanında kendilerine yer bulmaktadırlar. Ancak üretimde ve birçok fabrikasyon uygulamalarında bu çelikler deformasyona maruz kalırlar. Isıl işleme sertleştirilemeyen östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme ile dayanım kazanırlar. Paslanmaz çelikler arasında en yaygın kullanıma sahip tür östenitik paslanmaz çeliklerdir ve en bilinen tipi AISI 304'tür. Fakat günümüzde östenitik paslanmaz çeliklerin yerine ferritik paslanmaz çeliklerin kullanıldığı görülmektedir. Çünkü ferritik paslanmaz çelikler nikel içermedikleri için, östenitik paslanmaz çeliklerden daha ucuzlardır. Ferritik paslanmaz çeliklerin en bilinen tipi AISI 430'dur. Üretimleri esnasında çeşitli soğuk şekillendirme proseslerinden geçen östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapılarının, mekanik özelliklerinin ve korozyon davranışlarının bu proseslerin miktarlarına bağlı olarak değişkenlik göstermeleri mümkündür.

Bu çalışmada kullanılan AISI 304 kalite östenitik ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliklerin orijinal hallerinin ve soğuk deformasyona uğratılmış hallerinin mikroyapı, sertlik incelemeleri ve korozyon deneyleri yapılmıştır. Soğuk deformasyonlar basma ve çekme işlemleri ile yapılmıştır. Paslanmaz çelikler satın alındıkları durumda ve tavlama ısıl işlemi yapılmış durumda kullanılmıştır. Böylece soğuk deformasyon oranının malzemelerdeki etkileri incelenmiştir. Tavlama ısıl işleminin ve soğuk deformasyon oranlarının özelliklere etkileri her iki kalite paslanmaz çelik için kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Son olarak korozyon testi yapılmıştır. Korozyon dayanımı testi, hızlı korozyon testi olarak, 1 M HCl asit içerisinde farklı sürelerde bekletilerek yapılmıştır.

Yapılan çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Her iki kalite paslanmaz çeliklerde deformasyon oranı arttıkça sertlik değerleri artmaktadır.
- Artan deformasyon oranıyla AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin sertlik değerleri daha fazla artmaktadır. Bu sonuç AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mukavemet değerlerinin deformasyonla daha etkili şekilde geliştirilebileceğini göstermektedir.
- Paslanmaz çeliklerin çekme dayanımı / akma gerilmesi oranı, soğuk deformasyon oranı arttıkça azalmıştır.
- Paslanmaz çeliklerin sertlik değerlerindeki artış oranı, deformasyon oranı arttıkça düşmektedir.
- Soğuk deformasyona uğratılmış paslanmaz çeliklerin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerdeki sertlik değerleri merkezlerine göre daha fazladır.

- Paslanmaz eliklerin soğuk deformasyon oranlarının artmasıyla mikroyapıdaki taneler daha fazla Şekil değiştirmektedir. Yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde taneler deformasyon yönünde daha fazla uzamaktadır.
- Soğuk deformasyon ile AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikte α' martenzit fazı oluşmaktadır.
- Tavlama ısıı işleminden sonra paslanmaz çeliklerin sertlikleri azalmıştır.
- AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin hızlı korozyon dayanımı AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğe göre daha yüksektir.
- Paslanmaz eliklerin soğuk deformasyon oranları arttıķça korozyon dayanımları düşmektedir. Yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde korozyon hasarı daha fazladır.

THE EFFECTS OF COLD DEFORMATION ON THE MICROSTRUCTURES, MECHANICAL PROPERTIES AND CORROSION BEHAVIOURS OF AISI 304 AND 430 GRADE STAINLESS STEELS

SUMMARY

In recent years, the necessity for stainless steels in our country increases every day. Stainless steels are widely used in various applications related to corrosion resistance. But this steels are exposed to deformation in production and many fabrication applications. Austenitic and ferritic stainless steels can not be hardened by heat treatment. On the other hand, cold working can harden such stainless steels. The most common stainless steels are austenitic steels, well-known as AISI 304 type. But today, ferritic stainless steels have been used instead of austenitic stainless steels. Because of ferritic stainless steels don't contain nickel, they are cheaper than austenitic stainless steels. AISI 430 is the well-known type of ferritic stainless steels. It is possible that the microstructures, mechanical properties and corrosion behaviours of austenitic and ferritic stainless steels subjected to various cold-forming processes during their production can show variability.

Austenitic stainless steels are the most popular type of stainless steel because of their excellent formability, corrosion resistance in various aggressive environments and weldability. The presence of chromium (% 16-28 wt.) and nickel (% 3,5-32 wt.) near to the small contents of the carbon (usually below % 0,1 wt.) assures a stable austenitic structure in the whole range of the temperature (from the temperature of solidus to the room temperature). Moreover can contain such elements as molybdenum (% 2-6 wt.), titanium and niobium. After supersaturation in water from 1100°C steel a single-phase austenitic structure with high corrosion resistance and without carbides extractions was obtained. In the supersaturated state austenitic stainless steels are characterized by high plasticity and relatively low strength (R_m about 550 MPa; $R_{p0.2}$ about 200-250 MPa). They are widely used in chemical, petrochemical, machinery, automobile, nuclear and shipyard industries.

One of the possible mechanisms of the plastic deformation in steels type 18-8 is strain-induced martensitic transformation leading to the transition of paramagnetic austenite into ferromagnetic martensite. Austenite has a FCC crystal structure, while martensite at low carbon concentration crystallizes in BCC structure. Martensite is harder and stronger than austenite. Some alloying components are inhibitors of martensitic transformation in austenitic stainless steels. It is well known that N, Mn, and Cu are such inhibitors, because they broaden the area of the occurrence of the γ phase. However in such elements as: Mo, W, Si, Ti, Nb, V are put into steel in order to increase the strength properties and corrosion resistance contribute to restricting the range of the occurrence γ .

The mechanical behaviour and evolution of phases in metastable materials, particularly Fe-Cr-Ni steels, have been the subject of experimental and theoretical studies for a long time. The reason is that these materials are quite often used in modern engineering. However, their mechanical properties are not fully investigated, because the character and the intensity of phase transformations depend on many

factors, such as strain rate and strain level, stress state and regime of mechanical loading, and temperature.

Ferritic stainless steels present typical Cr contents in the range % 11 to 17, with low Ni and C levels in their chemical composition. Their good corrosion and oxidation resistance is related to the Cr content. They also present low toughness and a ductile-brittle transition temperature close to or somewhat higher than room temperature. Ferritic stainless steels are frequently cold formed to their final application and differ to the austenitic stainless steels by presenting higher YS and a low n (strain hardening coefficient) values. These differences lead to the fact that they are far less adequate than the austenitic ones, for applications that involve stretching operations, despite that they may be used for deep drawing operations. The higher levels in YS and the lower ductility of the ferritic stainless steels conduce to lower levels of conformability in relation to the austenitic types, hence leading to less demanding stampings.

Mechanically, the differences in between the austenitic and ferritic types are more evident. Measured by HV, $R_{p0.2}$ or R_m , most ferrites equal the austenitic steel types. However, ferritics possess higher yield strength ($R_{p0.2}$) and lower tensile strength (R_m). In general, their mechanical properties are comparable to high strength carbon steels. A major difference in between the ferrites and the austenites is the elongation, i.e. the possible deformation until breakage. For the austenitic AISI 304 or 316 groups, the minimum elongation is around % 45 meaning that these steel types may be stretched and deformed very much, before they break. In contrast, the ferritic types possess a minimum elongation of % 18-20 which means that they are much less useful in the case of mechanical deformation, such as pure stretch forming. On the contrary, ferritics are more suitable for deep drawing, such as complex exhaust systems. With regards to cold forming, the ferrites are comparable with carbon steels, and less powerful machines are needed in comparison with austenitics. Notably, alloys like AISI 430 are widely used in i.e. England and Italy for catering purposes. However, do not expect to be able to make a very complicated double kitchen sink from a ferritic stainless steel. In such a case, the traditional AISI 304 is better. Another notable difference is the mechanical properties at extreme temperatures, i.e. notch toughness (AV) and creep strength, respectively, although Nb stabilized ferritics deform less than austenitics in response to long term stresses. Unlike the austenites, the ferrites may become brittle at very low temperatures, and they do not maintain their excellent tensile stress at very high temperatures (typically 700-800 °C and above). In addition, long-term exposure to temperatures in between 400 and 550 °C may give rise to "475°-brittleness", an "illness" which may also attack the duplex stainless steels in the same temperature range.

The microstructure, hardness investigations and corrosion tests of original states and cold deformed states of AISI 304 grade austenitic and AISI 430 grade ferritic stainless steels that have been used in this study were carried out. The cold deformations have been performed by the tensile and pressure operations. Stainless steels have been used with purchased and made of annealing heat treatment states. Thus, the effects of cold deformation rate on materials have been investigated. The effects of annealing heat treatment and cold deformation rates to properties for both grades of stainless steels have been investigated by comparing. Finally, corrosion test has been made. Corrosion resistance test, as rapid corrosion test, has been made as waiting in 1 M HCl acid for different periods.

The following results have been obtained in this study;

- The hardness values increase as deformation rate increases in both grades of stainless steels.
- The hardness values of AISI 304 grade austenitic stainless steel increase more with increasing deformation rate. This result indicates the strength values of AISI 304 grade austenitic stainless steel can be improved more effectively with deformation.
- Tensile strength / Yield stress ratio of stainless steels decreases as the cold deformation rate increases.
- The rate of increase in hardness values of stainless steels decreases as deformation rate increases.
- The hardness values in the surface and close to the surface regions of cold deformed stainless steels are greater than the centers.
- With increasing cold deformation rates of stainless steels, the grains in microstructure change more shape. In the surface and close to the surface regions, the grains elongate more in the direction of deformation.
- α' martensite phase forms in AISI 304 grade austenitic stainless steel with cold deformation.
- The hardnesses of stainless steels decreased after annealing heat treatment.
- The rapid corrosion resistance of AISI 304 grade austenitic stainless steel is higher than AISI 430 grade ferritic stainless steel.
- Corrosion resistance decreases as the cold deformation rates of stainless steels increase. Corrosion damage is higher in the surface and close to the surface regions.

1. GİRİŞ

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyif etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemesi arasına giren paslanmaz çelikler, günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı ve estetik görünümü gibi özelliklere sahiptirler. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanılabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sağlar. Dolayısıyla parçanın tüm ömrü dikkate alınarak yapılan fiyat analizlerinde, tasarımlarda paslanmaz çelik kullanımının daha ekonomik olduğu görülür.

Paslanmaz çelikler bileşiminde en az % 11 krom içeren bir çelik ailesidir. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan unsur; yüzeye kuvvetle tutulmuş, yoğun, sünek, çok ince ve saydam bir oksit tabakasının bulunmasıdır. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanır. Söz konusu oksit tabakası oksijen olan ortamlarda oluşur ve dış etkilere (aşınma, kesme ve talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur.

Paslanmaz çelikler yüksek korozyon özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin iyi olması, kaynak kabiliyetlerinin iyi olması sebebiyle endüstride dayanımın yanı sıra korozyon özelliklerinin de iyi olması istenen yerlerde geniş kullanım alanı bulurlar. Ancak üretimde ve birçok fabrikasyon uygulamalarında paslanmaz çelikler deformasyona maruz kalırlar. Martenzitik ve çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler haricindeki diğer paslanmaz çelikler ısı ile sertleştirilemezler. Isı ile sertleştirilemeyen bu çelikler soğuk deformasyonla dayanım kazandırılırlar. Soğuk deformasyonla mukavemet artışı çalışma sertleşmesi olarak da bilinir.

Karbon ve krom dışında çeliğin özelliklerini geliştirmek amacıyla birçok alaşım elementi ilavesi yapılır. Nikel, molibden, bakır, mangan, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, vanadyum, kükürt ve selenyum bu alaşım elementlerinden bazılarıdır.

Paslanmaz çelikler, metalurjik yapılarına göre 5 ana grupta sınıflandırılmaktadır:

- Ferritik,
- Martenzitik,
- Östenitik,
- Dupleks,
- Çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar.

Östenitik paslanmaz çelikler kromun yanında yapıyı östenitik halde tutacak oranlarda nikel içerirler. En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik türüdürler ve korozyona karşı dayanımları diğer paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Östenitik paslanmaz çelikler arasında 304 serisi birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Ferritik paslanmaz çelikler genelde nikel içermeyip yüksek krom içeren (% 10,5 ile % 30 arasında) molibden, titanyum, vanadyum gibi karbür yapıcı ve ferritik yapıyı istikrarlı kılan alaşım elementleri içeren bir paslanmaz çelik gurubudur. Genelde içerdikleri yüksek krom oranı, ferritiklere çok yüksek bir korozyon direnci sağlar. Daha çok yakın akrabaları olan karbon çeliklerin özelliklerine yakın mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olan ferritik paslanmaz çelikler, östenitiklerin tersine manyetikler, düşük karbon içerikleri nedeniyle ısıtılma işlemi tabii tutulamazlar ve kolayca haddelenebilirler. Bu tür çeliklere tek uygulanabilen ısıtılma işlemi tavlama işlemidir. Son zamanlarda alaşım elementlerinde, özellikle nikelde, yaşanan aşırı fiyat yükselişi ve değişkenliği, ferritiklerin geliştirilmesine hız kazandırmış olup, düşük maliyetle östenitikler kadar korozyona dayanımlı yeni, geniş bir kullanım alanına sahip ve maliyeti çok daha düşük ferritik kaliteler de geliştirilmiştir. En yaygın olarak bilinen ferritik kaliteler 430 ve 442'dir. Ferritiklerin yapıları KHM'dir.



Şekil 1.1 : % 12 krom içeren ferritik bir mikroyapı (Url-1).

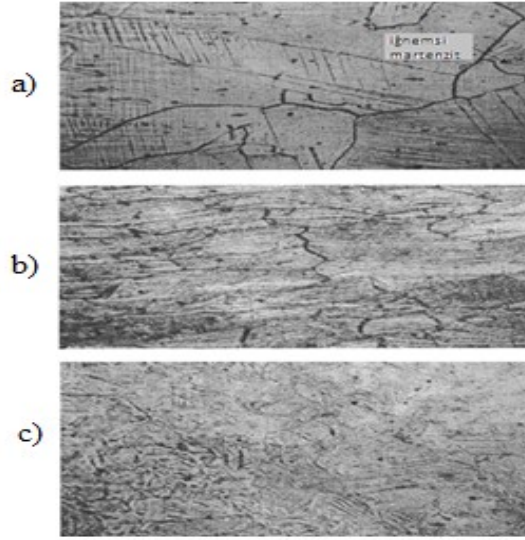
Paslanmaz çeliklerin maruz kaldıkları korozyon türleri; tanelerarası korozyon, oyuklanma korozyonu, gerilmeli korozyon, aralık korozyonu ve galvanik korozyondur. Östenitik paslanmaz çelikler ısıtılma ile sertleştirilemezler. Sertleştirme için soğuk veya sıcak işlem uygulanmalı, malzemeye plastik şekil verilmelidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada soğuk deformasyon oranının östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler üzerine etkisinin incelenmesi ve kıyaslanması amaçlanmıştır. Daha önce östenitik paslanmaz çeliklerle ilgili birçok çalışma yapılmasına rağmen son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan ferritik paslanmaz çeliklerle ilgili daha kısıtlı çalışmalar olduğu için bu iki tür paslanmaz çeliğin birbirleriyle kıyaslanması ve soğuk deformasyon oranına bağlı olarak bu iki türde ne gibi değişikliklerin olacağı saptanmaya çalışılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

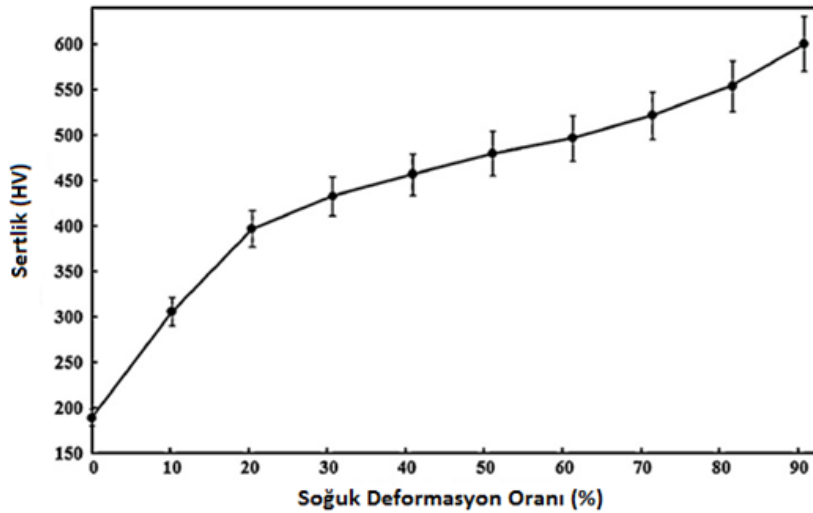
Daha önce AISI 304 için yapılan bir çalışmada kalınlık % 50 oranında yani yarı yarıya haddeleme yöntemiyle indirilmiştir. Deformasyonla birlikte akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik artmıştır. Ayrıca deformasyon arttıkça gerilimden dolayı oluşan martenzit fazıyla birlikte malzemenin daha da sertleştiği görülmüştür.



Şekil 1.2 : AISI 304'e uygulanan a) % 10 deformasyon, b) % 40 deformasyon, c) % 50 deformasyon sonrası mikroyapı görüntüleri (Milad ve diğ, 2007).

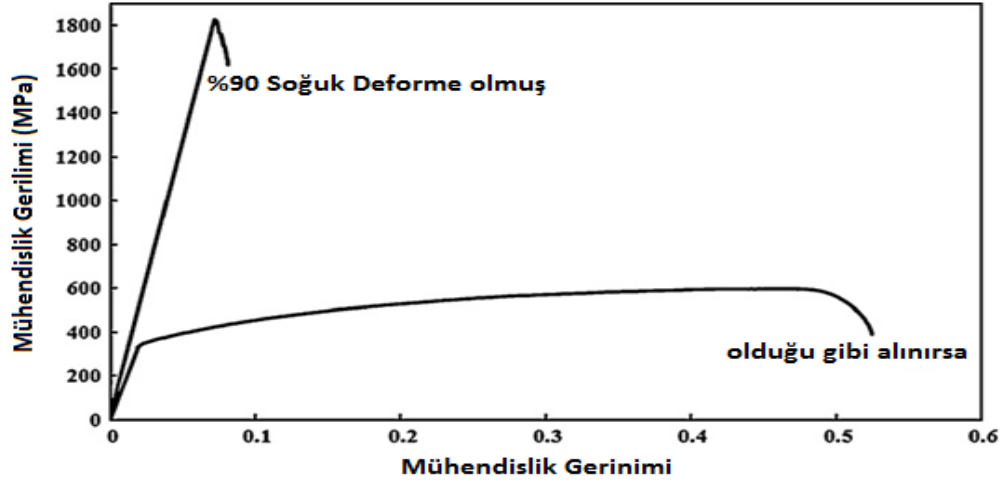
Şekil 1.2'de görüldüğü gibi soğuk deformasyon oranı arttıkça tanelerin deformasyon yönünde uzadığı ve içyapının daha fazla değiştiği görülmektedir. % 10 deformasyonun olduğu görüntüde şekil değiştirme martenziti oluşmaktadır. α' martenzit fazı şekil değiştirmenin etkisiyle artarak malzemenin sertleşmesine katkıda bulunmaktadır.

Bir diğer çalışmada AISI 304L kalite paslanmaz çelikte yine soğuk deformasyon oranının etkisi araştırılmıştır. Buna bağlı olarak malzeme soğuk haddelenmiştir ve malzemedeki sertlik artışı, akma mukavemeti, çekme mukavemeti ile α' martenzit fazı oluşumu incelenmiştir.



Şekil 1.3 : 304L kalite paslanmaz çeliğin soğuk deformasyon oranına bağlı olarak sertlik değişimi (Hedayati ve diğ, 2010).

Şekil 1.3'te, soğuk deformasyon oranı arttıkça sertlik değerinin 200 Vickers'ten 600 Vickers'e kadar arttığı görülmektedir.



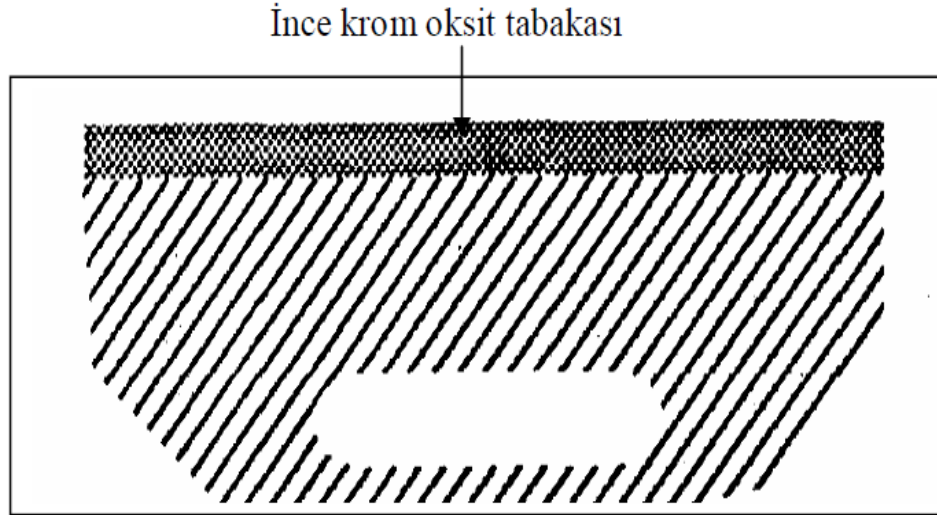
Şekil 1.4 : 304L kalite çeliğin % 90 soğuk deformasyona uğratılmış ve uğratılmamış hali arasındaki gerilim-gerinim farkı (Hedayati ve diğ, 2010).

Şekil 1.4'te görüldüğü gibi % 90 soğuk deformasyona uğramış paslanmaz çeliğin geriliminde gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Gerinim ise azalmıştır ve malzeme belli bir noktadan sonra kırılmaktadır. Diğer tarafta, malzeme eğer soğuk deformasyona uğramamışsa gerinimin yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. % 90 soğuk deforme edilmiş bir malzemenin dayanımı daha yüksek olmaktadır çünkü gerilim-gerinim eğrisinin eğimi elastiklik modülünü vermektedir.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler, esas olarak mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı tercih edilirler. Mükemmel korozyon dirençlerinin nedeni yüksek krom içermesinden kaynaklanmaktadır. Demire küçük miktarda örneğin yaklaşık % 5 krom katılması bir miktar korozyon direncini sağlar. Ancak paslanmaz çelik üretmek için demire en az % 12 Cr katılması gerekir. Klasik teorilere göre krom metalin alt katmanlarını korozyondan koruyan bir oksit filmi oluşturarak demir yüzeyini pasif hale getirir. Bu koruyucu oksit filmi oluşturmak için paslanmaz çelik yüzeyi oksitleyici maddelerle temas etmek zorundadır (Kaluç ve Tülbentçi, 1998; Erdoğan, 2000).

Bu oksit tabaka; ince, sıkı, geçirimsiz ve metalin yüzeysel davranışlarında çok önemli elektrokimyasal değişiklikler yaparak çeliği, korozif ortamdan koruyan özelliklere sahiptir (Abington Publishing, 1994).



Şekil 2.1 : İnce krom oksit tabakası paslanmaz çeliğin korozyon direncinin kaynağıdır (Abington Publishing, 1994).

Günümüzde 200'e yakın türü bulunan paslanmaz çelikler, değişik amaçlar için endüstride oldukça yaygın uygulama alanı bulurlar. Değişik endüstri dallarında kullanılan paslanmaz çelik türlerinin bazılarında krom yüzdesi % 30'a ulaşmakta, bazılarında da yeni elementler ilave edilerek değişik özellikler elde edilmekte ve talaşlı işlenebilme kolaylığı sağlanmaktadır (Ceyhun, 1992).

2.1 Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi

Paslanmaz çelikler I. Dünya savaşı'ndan sonra Avrupalı bir hurdacı paslı hurdalar arasında parlayan bir top namlusu analiz ettirir ve sonuçta çeliğin içeriğinde yüksek oranda krom bulunduğunu öğrenir; bu keşiften sonra Avrupa'da paslanmaz çelik üretimi başlar. 1911 yılında C. Dantsizen, General Elektrik firmasında, elektrik ampullerinde flaman olarak kullanılmak üzere % 14-16 Cr içeren bir Fe-Cr alaşımı üretmiştir. Aynı yıllarda İngiltere'de Harry Brearley Fe-Cr alaşımlarının yüksek korozyon direncinden yararlanarak çatal, kaşık, bıçak yapmak üzere % 12,8 Cr içeren bir alaşım geliştirmiştir. Aynı araştırmacı bu alaşımların metalografik dağlama ayraçlarına dirençleri nedeni ile bunlara “paslanmaz çelik” adını vermiştir. Uzun çalışmalar sonucu geliştirilerek patenti alınmış Krupp, V2A çeliği (% 20 Cr, % 7 Ni, % 0,25 C) adı altında endüstriyel çapta ilk paslanmaz çelik üretimi gerçekleştirilmiştir (Kaluç ve Tülbentçi, 1995; Kölük, 2000; Kuştutan, 2003).

2.2 Paslanmaz Çeliklerin Üstünlükleri

Paslanmaz çeliklerin tercih sebepleri; korozyon dayanımı, yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanım, imalat kolaylığı, mekanik dayanım, görünüm, hijyenik özellik ve uzun ömür başlıkları ile sıralanabilir (Aran ve Temel, 2003).

- **İmalat Kolaylığı:** Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler (Aran ve Temel, 2003).
- **Mekanik Dayanım:** Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısıtılma işlemleri ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür (Aran ve Temel, 2003).
- **Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar:** Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi tufallenme ve malzemenin mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar (Aran ve Temel, 2003).
- **Korozyon Dayanımı:** Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı

türleri ise asit, alkali çözeltiler ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir (Aran ve Temel, 2003).

- **Görünüm:** Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü, kalitesi ve bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir (Aran ve Temel, 2003).
- **Hijyenik Özellik:** Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar (Aran ve Temel, 2003).
- **Uzun Ömür:** Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir (Aran ve Temel, 2003).

2.3 Paslanmaz Çeliklerin Alaşım Elementleri ve Metalurjik Etkileri

Paslanmaz çeliklerin içerisinde paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı gereksinimleri karşılamak üzere isteyerek katılan alaşım elementleri ve karbon bulunmaktadır. Bu alaşım elementlerinin etkileri şu şekilde sıralanır (Aran ve Temel, 2003; Kaluç ve Tülbentçi, 1995; Kuştutan, 2003; Gürleyik, 1988; Serfiçeli, 2000):

2.3.1 Karbon (C)

- Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertlik ve mukavemet artırıcı etki için katılmaktadır.
- Kaynak metalinin korozyon direncini ve düşük sıcaklıktaki tokluğunu olumsuz yönde etkiler.

2.3.2 Azot (N)

- Kuvvetli östenit yapıcıdır.
- Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır.
- Sıfır altı sıcaklıklarda kaynak metali tokluğunu ters yönde etkiler.
- Mukavemeti artırır.

2.3.3 Alüminyum (Al)

- Kuvvetli ferrit yapıcıdır.
- % 12 krom içeren kaynak metaline katılarak yapıyı ferritik yani sertleşemez hale getirir.
- Titanyum ile bazı yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır.
- Kuvvetli nitrür yapıcıdır.

2.3.4 Molibden (Mo)

- Bir karbür ve ferrit yapıcıdır.
- Yüksek sıcaklık mukavemetini ve sürünme direncini artırır.
- Oksitleyici olmayan ortamlarda genel korozyon direncini, diğer ortamlarda çukurcuk korozyon direncini arttırmak için kullanılır.

2.3.5 Niyobyum (Nb)

- Kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökelmesine karşı dengelemede kullanılır.
- Orta şiddette ferrit yapıcıdır.
- Yüksek mukavemetli bazı alaşımlara, sertliği ve mukavemeti etkilemek için katılmaktadır.
- Bazı martenzitik paslanmaz türlerinde karbonu bağlayarak, çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacı ile katılır.
- Taneler arası korozyonu önler.

2.3.6 Krom (Cr)

- Bir karbür ve ferrit yapıcıdır.
- Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir.
- Bu elementin paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme mukavemetine belirgin bir etkisi yoktur.

2.3.7 Silisyum (Si)

- Islah edilebilir su verilmiş çeliklerde, çekme mukavemeti ve orantılılık sınırını yükseltir.

- Soğuk şekillendirilme kabiliyetini azaltır.
- Çeliklerin elektrik direncini yükseltir.

2.3.8 Nikel (Ni)

- Kuvvetli östenit yapıcı ve dengeleyicidir.
- Oksitleyici olmayan sıvılara karşı genel korozyon direncini arttırmak için kullanılır.
- Bazen, kromlu paslanmaz çeliklere mekanik özellikleri geliştirmek için az miktarda eklenir.
- Genel olarak kaynak metali tokluğunu yükseltici etkisi vardır.

2.3.9 Kükürt, fosfor ve selenyum (S, P ve Se)

- Bu elementlerden bir tanesi az bir miktarda molibden veya zirkonyum ile paslanmaz çeliğe katılarak paslanmaz çeliğin talaşlı üretime yatkınlığı artırılır.
- Bu üç elementte kaynak metalinde çatlamayı teşvik eder.

2.3.10 Kobalt (Co)

- Birçok paslanmaz alaşımının yüksek sıcaklıklardaki sürünme ve mukavemet özelliklerini geliştirmek amacı ile katılır.

2.3.11 Bakır (Cu)

- Oksitlenmeyi azaltarak paslanmaz çeliklerin korozyon direncini artırır.

2.3.12 Tungsten (W)

- Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının mukavemet ve sürünme direncini arttırmak için katılır.
- Kuvvetli bir ferrit yapıcıdır.

2.3.13 Titanyum (Ti)

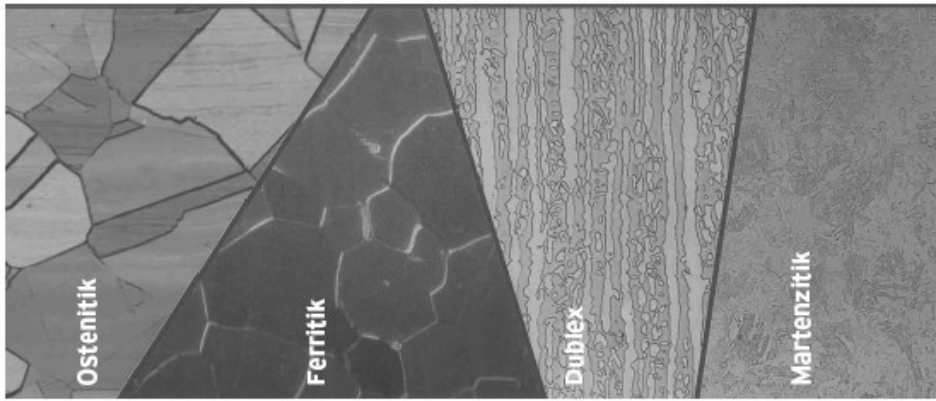
- Kuvvetli karbür ve nitrür yapıcıdır.
- Östenitik paslanmaz çeliklerde krom-karbür çökmesini önlemek için dengeleme elementi olarak kullanılır.
- Kuvvetli ferrit yapıcıdır.

- Yüksek sıcaklıklara dayanımlı çeliklere sertlik ve mukavemeti arttırmak amacıyla kullanılır.
- Yüksek mukavemetli ve ısıya dayanımlı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum (Al) ile beraber ilave edilir.

2.4 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanabilir.

- Östenitik paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Ferritik-Östenitik (dubleks) paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Çökelme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler.



Şekil 2.2 : Bazı paslanmaz çelik türlerinin mikroyapıları (Aran ve Temel, 2003).

2.4.1 Östenitik paslanmaz çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler, bileşimlerinde % 12-25 Cr, % 8-25 Ni ve % 20'ye kadar mangan içerirler. Nikel ve mangan temel östenit oluşturmuculardır. Gerek kullanım, gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grup östenitik paslanmaz çeliklerdir. Bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik kafese sahip östenitik içyapıları koruduklarından ısıtma işlemiyle sertleştirilemezler. Süneklilikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Anti manyetik olan östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile artar (Erdoğan, 2000).

Östenitik paslanmaz çelikler karbonlu çeliklerden daha yüksek termal genleşme katsayısına ve daha düşük termal iletkenlik katsayısına, daha yüksek elektrik direncine ve daha düşük ergime noktasına sahiptirler (Woollin, 1994; Wang, 2005).

Östenitik paslanmaz çelikler özellikle oksitleyici veya redükleyici ortamlarda iyi korozyon direncine sahiptir. Bu tür paslanmaz çeliklere, korozyon direncini arttırmak için; kromun ferrit yapıcı etkisi, östenit yapıcı alaşım elementlerinin ilavesiyle giderilir (Castner, 1992). Katılan alaşım elementleri ve etkileri şu şekilde sıralanır;

- Kaynak edilmiş parçalarda taneler arası korozyonu önlemek için karbon miktarının azaltılması veya titanyum, niyobyum ve tantalyum gibi kararlaştırıcı elementlerin katılması gereklidir. Karbon kuvvetli bir östenit yapıcı olmasına karşın karbür oluşturarak korozyon direncini düşürmektedir.
- Yüksek sıcaklıklarda korozyon direncini yükseltmek için krom ve nikel miktarının artırılması gerekmektedir (Kıyıcı, 1994).
- Gerilmeli korozyonu önlemek için nikel miktarının artırılması gerekmektedir.
- Molibden ilavesiyle organik ve çeşitli mineral asitlere karşı dayanım artar. Böylece çukur ve çatlaklardaki korozyon önlenir.

2.4.1.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları

Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. İçyapının östenit olmasından dolayı ferritik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan çok önemli bir sorun olan süneklikten gevrekliğe geçiş sıcaklığı altındaki gevrekleşme, bu tür çeliklerde görülmez. Gerek sıfır altı (-270°C 'ye kadar) ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerinin üstünlüğü bu çelik gurubunun birçok alanda rakipsiz bir yapı çeliği olarak kullanılmasına imkân sağlamıştır (Kaluç ve Tülbentçi, 1998).

Mükemmel şekillendirilebilirliği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile AISI 304 kalite östenitik çelik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir. 304 kalite çeliklere molibden (Mo) katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve kontrollü ortamlarda noktasal korozyona dayanım sağlanır. Çok düşük karbonlu 304L kalite çeliği ise 304 kalite çeliğinden kaynak sırasında ısı tesiri altında kalan bölgede oluşan ve taneler arası korozyona neden olan karbür çökmesini önlemek amacıyla

geliştirilmiştir. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar yüksek alaşımlarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır (Aran ve Temel, 2003).

Çizelge 2.1 : Östenitik paslanmaz çeliklerin tipik uygulama alanları.

AISI kalite	Tipik Uygulamalar
301	Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliğin gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Tren yolu arabaları, uçak parçaları, sıkma bilezikleri, otomobil tekerlek kapakları, süslemelerde kullanılır.
302	Genel amaçlı östenitik paslanmaz çelik tipidir. Süsleme yiyecek taşıma donanımları, uçak kaportaları, antenler, yaylar, pişirme donanımları, inşaatların dış kısımları, mücevherler, petrol rafine donanımları, isim plakaları yapımında kullanılır.
304	Kaynak sırasında karbür çökmesini sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu kimyasal ve yiyecek işleme donanımları, mayalama donanımları, soğuk kaplar, oluklar, yağmur olukları, sac kaplama yapımında kullanılır.
314L	Kaynak sırasında karbür çökmesinin daha çok sınırlaması için tip 304'ün daha fazla düşük karbon modifikasyonudur. Depolama tanklarının yapımında kullanılır.
309	Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitleme direnci, uçak ısıtıcıları, ısıtım işlem donanımları, tavlama kapakları, fırın parçaları, pompa parçaları yapımında kullanılır.
310	Tip 309'dan daha yüksek oksitleme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı gösterir. Isı değiştiriciler, fırın parçaları, yanma çemberleri, kaynak dolgu metalleri, gaz türbin bıçakları, yakma makinası ısı toplayıcıları yapımında kullanılır.
316	Tip 304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımına sahiptir. Fotoğraf donanımları, kaynak fiçileri, ketçap pişirme tencereleri, maya tüpleri imalatında kullanılır.
316L	Tip 316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür çökmesini önlenmesi zorunlu olunan kaynaklı yapılarda kullanılır. Yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.

2.4.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, esas olarak % 12-30 Cr içeren demir-krom alaşımlarıdır. Bu alaşımlar ferritik olarak adlandırılırlar. Çünkü bunların yapıları normal ısıtım şartları altında çoğunlukla ferritik olarak kalırlar (KHM α demir tip). Bu alaşımlar başlıca genel yapım malzemeleri olarak kullanılırlar. Bu yapım malzemeleri özel korozyon ve ısı direncinin istendiği malzemelerdir. Ferritik paslanmaz çelikler tasarım mühendisliği açısından öneme sahiptir. Çünkü bunlar nikel içeren paslanmaz çelikler gibi aynı korozyon direncini sağlarlar fakat alaşım elementi olarak nikel ihtiyacı olmadığı için ekonomiktirler. Buna karşın ferritik paslanmaz çelikler sünekliklerinin azlığı, çentik hassaslıkları ve düşük kaynaklanabilirliklerinden dolayı kullanımları östenitik paslanmaz çeliklerden daha sınırlıdır.

Standart ferritik paslanmaz çeliklerin süneklik problemini aşmak için düşük karbon ve azot içerikli yeni ferritik paslanmaz çelikler geliştirilmiş ve ticari olarak üretilmiştir. Bu alaşımlar iyileştirilmiş korozyon direnci ve kaynaklanabilirliğe sahiptir (Erdoğan, 2000).

2.4.3 Ferritik - östenitik (dubleks) paslanmaz çelikler

Dubleks çelikler olarak da adlandırılan bu çeliklerin içyapısında her iki faz bir arada bulunur ve bu sayede östenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de ötesinde iyileştirilmiş özellikler gösterir. Böylece östenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklere kıyaslandığında ise daha iyi tokluk ve sünekliğe sahip olurlar. Ayrıca, iki fazın bir arada bulunması halinde tavlınmış durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ki, bu değer fazların tek başına türdeki çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır. Mevcut ticari kaliteler % 22 - % 26 krom, % 4 - % 7 nikel, azami % 4,5 molibden, yaklaşık % 0,7 bakır ve volfram ile % 0,08 - % 0,35 azot içerirler (Gooch, 1992).

Bu tür paslanmaz çelikler üstün özelliklerinden dolayı değişik biçim ve boyutlarda endüstrinin hizmetine sunulurlar. Isı eşanjörü, petrol, gaz ve deniz suyu boruları ile bağlantı elemanlarında, deniz petrol platformlarında, gaz kuyularında, basınçlı kaplarda, döküm pompa ve vana gövdelerinde, gemi pervanesi ve parçaları yapımında, jeo-termal uygulamalarda, kimyasal teçhizat imalatında, arıtma tesislerinde büyük çapta kullanılmaktadırlar (Kaluç ve Sarı, 1995).

2.4.4 Martenzitik paslanmaz elikler

Karbon miktarı % 0,1'den fazla olan çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik içyapıya sahiptirler. Östenitleme sıcaklığı çeliğin türüne göre 950-1050°C arasındadır. Bu sıcaklıkta tutulan çeliğe su verilirse martenzitik bir içyapı elde edilir. Bu şekilde elde edilen yüksek sertlik ve mekanik dayanım, karbon yüzdesi ile birlikte artar. rn tipine bağlı olarak martenzitik çelikler tavlanmış veya ıslah edilmiş durumda pazara sunulur. Tavlanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah işlemine (su verme + temperleme) tabi tutulur. Temperleme sıcaklığı değiştirilerek değişik özellikler elde edilir. En iyi korozyon dayanımı elde etmek için, tavsiye edilen ıslı işlem sıcaklığına uyulması çok önemlidir (Aran ve Temel, 2003).

Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle su verilmiş ve menevişlenmiş veya tavlanmış halde kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması, yavaş soğuma halinde, örneğin sakın havada soğuma, martenzit oluşumuna neden olur. Martenzitik durumda korozyon dirençleri çok iyidir. 815°C'ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Ancak uzun süre yüksek sıcaklıklarda kalırlarsa hafif bir korozyon başlangıcı olur. Dolayısı ile bunlar endüstride 700°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar.

Martenzitik paslanmaz çeliklerde mekanik özellikleri geliştiren niyobyum (Nb), molibden (Mo) ve tungsten (W) gibi alaşım elementlerinin % 3'e kadar ilavesi ile yaklaşık % 10,5 - 18 Cr içerirler (Baylan, 2004).

2.4.5 Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile çökelme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni'li paslanmaz çelikler ailesinin bir grubudur (Kaluç ve Tülbentçi, 1998; Odabaş, 2004).

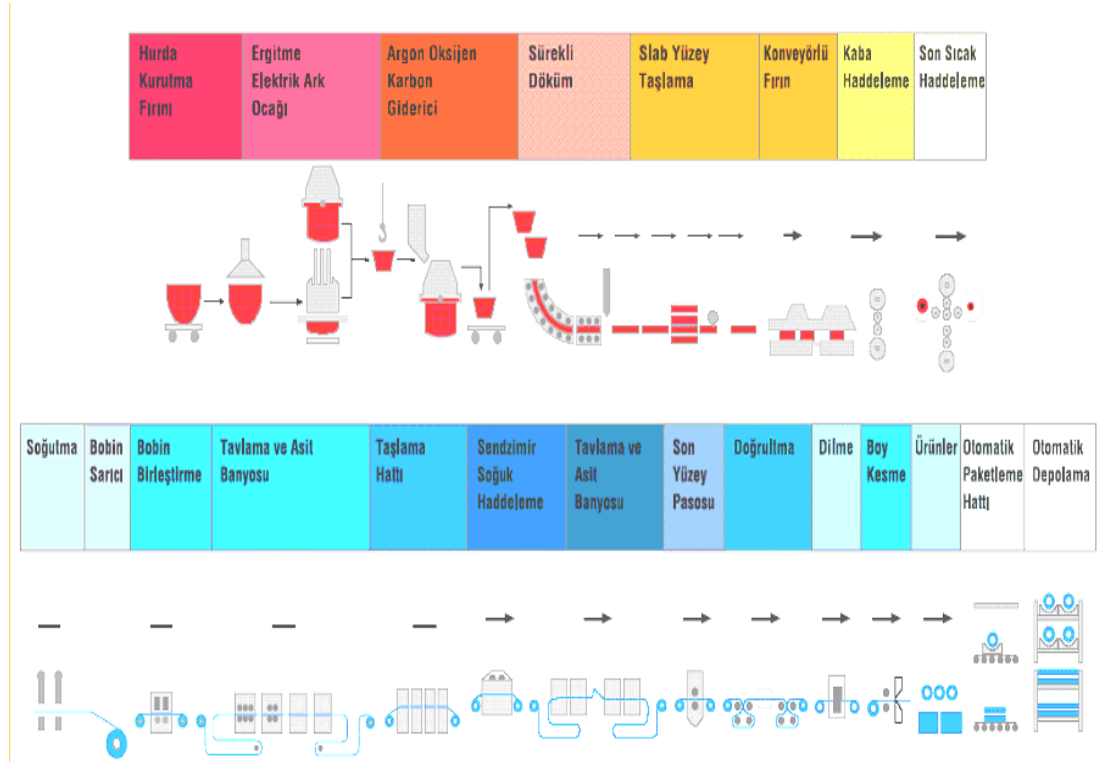
Bu çeliklere gerekli mukavemeti kazandırmak için kontrollü olarak çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) uygulanmaktadır. kelti oluşumunu sağlamak için alüminyum (Al), molibden (Mo), titanyum (Ti), niyobyum (Nb) ve bakır (Cu) elementleri ile alaşımlama yapılır.

Çökelme sertleşmesi prensip olarak alaşımı çözeltiye alma tavından sonra uygulanan hızlı soğumayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Çeliğin içerisinde bulunan

alaşım elementleri çözeltiye alma tavı sırasında çözünürler ve yaşlandırma işlemi sırasında da çok küçük zerrecikler halinde çökerek matrisin sertlik ve mukavemetini arttıırırlar. Bu işlem sonucu çelik, martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine östenitik paslanmaz çeliğin korozyon direncine sahip olabilmektedir. Mukavemetleri yaklaşık 1700 MPa'a kadar çıkabilmekte ve böylece, martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemetlerinin üzerinde değerlere ulaşılabilir (Baylan, 2004).

2.5 Paslanmaz Çeliklerin Üretimi

Paslanmaz çelik üretimi büyük yatırım ve uzmanlık gerektiren bir teknolojidir. Bu çeliklerin ergitme ve arıtma işlemleri genellikle “Elektrik ark ocağı / argon oksijen karbon giderme” yöntemleriyle yapılır.(EAF/AOD: Electric Arc Furnance / Argon Oxygen Decarburization). 1970’li yıllarda geliştirilen ve dünyada paslanmaz çelik üretiminin % 80’inin gerçekleştirildiği bu yöntem sayesinde, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve kalitenin yükseltilmesi mümkün olmuştur. Daha farklı üretim teknikleri de mevcut olmasına rağmen, bu bölümde sadece EAF/AOD yöntemi ana hatlarıyla açıklanmıştır (Aran ve Temel, 2003).



Şekil 2.3 : Paslanmaz çeliklerin üretim şeması (Aran ve Temel, 2003).

Üretimde en önemli adım “Argon Oksijen Dekarbürizasyonudur” (AOD). Argon oksijen dekarbürizasyonu yöntemiyle malzeme üretimi argon gazı püskürtmeyle oksijen’in dekarbürizasyonu esasına dayanır. Paslanmaz çelik üretiminin başladığı ilk yer çelikhanelerdir. Çelikhane de ergitme işleminin yapılacağı bazık astarlı elektrik ark ocağına, uygun paslanmaz çelik hurdası, karbon çelik hurdası ve gerektiğinde Ni ve Mo gibi alaşım elementleri yüklenir. Malzemeler, ergitme ocağına konmadan önce belirli bir süre kurutma fırınında tutulur. Ardından malzemeler alaşımlamanın yapıldığı elektrik ark ocağında ergitilir (Lippold, 1992).

Çizelge 2.2 : AOD yönteminde üretim aşamaları (Lippold, 1992).

	Cr	Ni	C	Si	S	Sıcaklık (°C)	Ar/O ₂	Zaman (min sn.)
1. Amaç	18.0	10.0	0.025	0.5	0.015	1550	-	-
2. AOD Dönüşümü	18.5	9.8	1.5	0.3	0.035	1500	-	2
3. Püskürtme 1	17.8	10.0	0.4	0.1	0.03	1700	1/3	25
4. Püskürtme 2	17.0	10.1	0.15	-	0.03	1720	1/2	15
5. Püskürtme 3	16.5	10.1	0.018	-	0.03	1740	2/1	15
6. Azaltma	18.2	9.9	0.02	0.5	0.02	1650	Ar*	5
7. Desülfürizasyon	18.2	9.9	0.02	0.5	0.01	1625	Ar*	10 ^t
8. Budama	18.2	10.1	0.02	0.5	0.01	1550	Ar*	1

* Ar ortamı; t Düşük zaman

AOD ünitesine alınan eriyiğe önce % 75 O₂ ve % 25 Ar gazları yan memelerden ve üstten püskürtülür. Bu aşamada alaşımın bileşimindeki C yakılarak, gerekiyorsa % 0,02’ye düşürülebilir. Cr oksitlenmeye hassas olduğundan, bu sırada bileşimdeki Cr’un bir kısmı da cürufa geçer. Bu nedenle alaşıma Cr’un katılması büyük oranda karbür gidermenin tamamlanmasından sonra yapılır. Üçüncü aşamada ise alaşımdaki kükürt oranı düşürülür (Aran ve Temel, 2003; Lippold, 1992).

Bileşim ve sıcaklık istenilen seviyeye ulaştığında, eriyik döküm potasına aktarılır ve son ayarlamalar yapılır. Bu aşamada da alaşıma bazı elementler ilave edilir. Eriyiğin homojenleştirilmesi argon gazı üflenerek sağlanır. Hazırlanan alaşım potadan bir tava aracılığıyla katılaştırmanın başladığı su soğutmalı bir bakır kalıp içine dökülür. Katılaştıran yassı kütük (slab), bükme ve düzeltme merdanelerinin bulunduğu kısma aktarılır. İşlem sonunda malzeme alev ile istenen boyutta kesilir. Bu teknoloji ile çeliğin slab halinde kesintisiz olarak dökülmesi mümkündür. Döküm sırasında slab

yüzeylerinde çeşitli kusurlar ortaya çıkabilir. Bekletilerek soğutulan yassı kütüklerin yüzey kusurları değişik ebatlardaki taşlama tezgâhlarında yerel olarak veya yüzey tamamen taşlanarak giderilir (Aran ve Temel, 2003).

Bu işlemin ardından sıcak haddeleme işlemi vardır. Sıcak haddeleme öncesinde ilk işlem yassı kütükler koruyucu atmosferde 1250°C sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır. Kaba haddeleme ile malzeme kalınlığı kütük boyutundan yaklaşık 25 mm'ye indirilir. Bu işlem sonrası malzemenin sıcaklığı 1100°C civarındadır. Kaba haddeleme sonucunda uzunluğu artan yassı ürün bobin halinde sarılır ve ileri-geri haddeleme işlemleri ile malzeme kademeli olarak inceltir. Malzemenin istenilen kalınlığa ulaştığı son pasodan sonra sıcak sac bir soğutucu içinden geçirilerek rulo sarıcıya beslenir. Sıcak haddelenmiş bu yarı mamul genellikle bir sonraki işlemler dizisi için soğuk haddeleme ünitesine aktarılır (Aran ve Temel, 2003).

Soğuk haddeleme sürecinde paslanmaz çelik sac, ileri - geri hareket özelliğine sahip hadde tezgâhında birbiri ardına uygulanan pasolar ile inceltirilerek, kalınlıkta % 80'e varan azalmalar sağlanabilir (Aran ve Temel, 2003).

2.6 Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini, korozyon dirençlerini, işlenebilme özelliklerini ve uygulama alanlarını genişletebilmek için katılan alaşım elementleri bu çeliklerin fiziksel özelliklerini de önemli ölçüde etkiler. Paslanmaz çeliklerin karbonlu çeliklerle karşılaştırıldığında ısı ve elektrik iletkenliği oldukça zayıftır. Termal iletkenliği karbonlu çeliklerin yarısından daha düşüktür. Paslanmaz çeliklerin elektrik öz direnci karbonlu çeliklerden 6 kat daha büyüktür. Östenitik alaşımlar karbonlu çeliklerden % 50 daha büyük olan termal genleşme katsayısına sahiptir. Ferritik paslanmaz çeliklerin, östenitik paslanmaz çeliklere oranla elektrik iletme dirençleri % 20, özgül ısıları da % 10 daha düşüktür. Ancak tüm paslanmazların elektrik dirençleri alaşımsız çeliklere oranla yaklaşık 4-7 kat daha fazladır. Bu nedenle paslanmaz çeliklerin kaynağında elektrotlar % 25 daha az akım şiddeti ile yüklenirler (Koydul, 1994; Ceyhun, 1992; Kaluç ve Tülbentçi, 1995; Baylan, 2004).

Çizelge 2.3 : Paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin normal çeliklerin karşılaştırılması (Baylan, 2004).

Çelik Türü	$\alpha \times 10^{-6}$	λ W/mC	Ω nm	E EkN/mm ²
Karbonlu çelik 1016	13	47	150	205
Ferritik-Kromlu	12.5	24	600	225
Ferritik-Ostenitik	13.5	20	850	205
Ostenitik Cr-Ni	19.5	15	700	200
α : 20–800°C’de ısı genleşme katsayısı λ : Isıl iletkenlik (20°C) Ω : Elektrik direnci (20°C) E: Elastiklik modülü (20°C)				

2.7 Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerin uygulanan gerilme altında, biçimlerini kalıcı olarak değiştirmeleri, mekanik davranışları ile ilgilidir. Malzemelerin biçimlerini ne zaman kalıcı olarak değiştirebileceğini bilmek çok önemlidir. Mekanik özellikler yalnız atom türleri ve kristal yapılarına değil, büyük ölçüde içyapılarına yani tane büyüklüğüne bağlıdır. En önemli mekanik özellikler, şekil değiştirme kabiliyeti ile dayanım olup, malzemenin kırılma davranışı ile bilinmelidir. Malzemelerin mekanik davranışları, malzemenin şekline ve boyutuna bağlıdır (Kanbolu, 1996).

% 18-30 kromlu çelikler tamamen ferritik olup genellikle kritik dönüşüm noktaları yoktur. Ticari tiplerdeki karbon oranının diğer kromlu çeliklerinkinden yüksek olmasına rağmen gözle görülür bir havada sertleşme meydana gelmez. Ferritik çeliklerde yüksek karbon oranı, tane boylarını küçültüp, gevrekliği azalttığından faydalıdır. Hâlbuki martenzitik ve beynitik tiplerde karbon % 1,10’un altında olmalıdır. Böylece, çatlamaya daha az hassas olan, ısıdan etkilenmiş bölgede düşük sertlik elde edilmiş olur. Ferritik çelikler, tek fazlı alaşımlar olduklarından ısı işleme cevap vermezler. Ferritik kromlu çelikler yüksek sıcaklıklarda genellikle sünek olup 100°C’nin altında gevrekler. % 3-14 kromlu çeliklerin mekanik özellikleri, kopma mukavemeti, akma sınırı, uzama ve sertlikleri ısı işleme; daha yüksek kromlu çeliklerde bu özellikler sadece sıcak ve soğuk mekanik işleme değiştirilebilir. % 23-25 kromlu çelikler 500-900°C arasında uzun süre ısıtıldığında, sigma fazına bağlı

olarak gevrekleşme meydana gelir. Yine 375-550°C arasında uzun süre ısıtmalar ve bu arada yavaş soğuma da gevrekleşmeye yol açar. Uygun tavlama ile bu çeliklerin sünekliği sağlanır (Kanbolu, 1996).

2.8 Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Özellikleri

Paslanmaz çeliklerin korozyona karşı dayanımının yüksek olması, yüzeyinde bulunan ince oksit filminin sonucudur. Film; sürekli, gözeneksiz, çözünmeyen ve kendi kendini onaran bir yapıda olduğu bilinir. Bu tabakanın korozyon dayanımını; bileşimin etkisi, gördüğü işlem (ısıtma işlemi, haddeleme, dağlama), kaynak işlemi ve imalatı belirler (Aran ve Temel, 2003).

Tüm paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, çok yoğun ve koruyucu, krom oksit ince pasif yüzey tabakasının oluşmasına dayanır. Korozyona karşı korumayı sağlayan bu mekanizmanın anlamı şudur: çeliğin yüzeyindeki pasif tabaka kırıldığında çelik bölgesel olarak korozyon saldırısına uğrar ve bu şekilde aktif hale gelen bölgede metalin korozyonu devam eder.

Paslanmaz çeliklerin yüzeyindeki pasif tabaka mekanik ve kimyasal etki ile zarara uğrayabilir. Malzemede korozyona bağlı hasar; genel korozyon, aralık korozyonu, taneler arası korozyon, noktasal korozyon ve gerilmeli korozyon biçiminde gerçekleşir (Aran ve Temel, 2003).

Bu yüzden oyuklanma ve çatlak korozyonu, gerilmeli korozyon ve tane sınırı korozyonu gibi bölgesel korozyon tipleri genellikle genel korozyondan daha kritiktir. Buna bağlı olarak çeliğe alaşım ilavesi, bölgesel saldırılara oldukça etkili şekilde karşı koyabilme özelliği kazandırmaktadır.

2.8.1 Genel korozyon

Genel korozyon tüm yüzey üzerinde ilerleyen bir korozyon türüdür. Bu tür korozyon asidik veya güçlü alkali çözeltilerde oluşur. Genel korozyona karşı direnç, çelikte Mo ve Cr içeriğinin artırılması ile geliştirilir (Önal, 1997).

2.8.2 Aralık korozyonu

Aynı veya farklı türden iki paslanmaz çelik parçanın bağlantı yerindeki (conta yüzeyleri, cıvata, perçin kafalarının altı) aralıklarda ve sıvı ile doldurulan dar aralıklarda görülen korozyon türüdür. Havalandırması zayıf olan dar aralıklardaki sınırlı

miktarda oksijen pasif oksit filmini onaramaz ve derişik pili oluşturur. Ayrıca buralarda korozyonu hızlandırıcı maddeler birikir. En uygunu bu yerlerin sızdırmaz yapılmasıdır (Aran ve Temel, 2003).

2.8.3 Taneler arası korozyon

Karbon miktarı % 0,03'ten fazla olan kararsız (stabilize edilmemiş) östenitik paslanmaz çeliklerde 550-850°C sıcaklık aralığında tane sınırlarında karbür çökelmesi olur ve malzeme taneler arası korozyona duyarlı hale gelir. Bu durumu engellemek için: Yüksek sıcaklık (1040-1150°C) tavı ile karbürleri çözmek ve tekrar çökelemeyecekleri bir hızla soğutmak, stabilize (Ti, Nb) paslanmaz çelik kullanmak ve karbon miktarını azaltmak gibi çözümler önerilir. Atmosferik veya hafif korozif ortamlarda taneler arası korozyon için tedbir almaya gerek yoktur (Aran ve Temel, 2003).

2.8.4 Çukurcuk korozyonu

Çukurcuk, pasifliğin kaybolmasına neden olur. Çukurcuk, parçadaki zayıf noktalarda (inklüzyonlar, dislokasyonlar, tane sınırları gibi) oluşur. Pasif film yeniden oluşmazsa, korozyon saldırıları devam eder ve çukurcukla sonuçlanır. Klor içeren ortamlarda bölgesel korozyona direnç, bileşime ve pasif tabakadaki yerel zayıf noktaların varlığına bağlıdır. Cr, Mo, N ve W gibi paslanmaz çelikte bulunabilecek elementlerden birkaçı korozyon direncine katkıda bulunur. Bu alaşım elementlerinin miktarı ve korozyon özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlayarak, çukurcuk korozyonu eşdeğerliliği (PREN) olarak adlandırılan, matematiksel bir formül kuran farklı girişimler yapılmıştır (Kaçar, 1997). Oyuklanma ve çatlak korozyonuna karşı direnç, katı çözeltiler şeklindeki Cr, Mo, N içerikleri ile arttırılmıştır, örneğin aşağıdaki ampirik formül oyuklanma direncini tanımlamaktadır (Şeşen, 2011).

Pitting Resistance Equivalent (PRE)

$$PRE = \%Cr + 3,3 \%Mo + 30 \%N \quad (2.1)$$

şeklinde veya

Pitting Resistance Equivalent Number (PREN)

$$FPREN = \%Cr + 3,3(\%Mo + 0,5\%W) + 16\%N \quad (2.2)$$

şeklinde verilmektedir.

2.8.5 Gerilmeli korozyon

Gerilmeli korozyonu, hidrojen gevrekliği ve korozyon yorulması olarak adlandırılan gerilme korozyonu; elektrolit içinde bulunan bir çatlak başlangıcı taşıyan parça üzerine çekme gerilmesinin etkimesi ile ortaya çıkar. Çatlak başlangıçları yüzeyde ve mikroskobik ölçeğin altında büyüklükteki süreksizliklerdir. Çatlaklar mekanik gerilme ve korozyonun ortak etkimesi sonucunda ortaya çıkabilir. Gerilme nedeniyle hareket eden dislokasyonların yüzeyde meydana getirdiği kayma şekilleri, korozyon yavaşlatıcı oksit vb. tabakanın sürekliliğini bozar. Bu gibi hallerde koruyucu tabakanın yenilenmesi olaya özgü elektrolit tabaka tarafından engellenir ve korozyon yerel olarak bir tünel oluşur. Doğrudan doğruya koruyucu tabakadan gelecek iyonlar da aynı sonucu doğurur (Aran ve Temel, 2003).

Gerilme korozyonu sırasındaki çatlak ilerlemesi, çatlak ucundaki gerilme yığılması sonucu oluşan plastik şekil değişimi ve buna bağlı dislokasyon yoğunluğu nedeniyle anodik olarak çözünme ve çatlak büyümesi şeklinde oluşur. Bu arada plastik şekil değişimi sonucu azalan gerilme yığılması, çatlak büyümesi ile taşıyıcı kesitin daralması ve ortalama gerilmenin artması sonucu yeniden etkinlik kazanır. Bu şekilde ilerleyen çatlak hızlanarak parçanın kısa zamanda kırılımına yol açar.

Östenitik paslanmaz çelik için gerilmeli çatlak korozyonuna karşı alınacak yegâne metalurjik önlem; aşırı karbon doymuşluğu göstermeyen kararlı bir östenitik yapı sağlanmasıdır. Soğuk şekillendirme veya kaynaktan sonra oluşabilecek iç gerilmelerin giderilebilmesi için 920-950°C sıcaklıklarda yapılan normalleştirme tavlama gerilmeli çatlak korozyonuna karşı alınacak yararlı bir fiziksel tedbirdir. Östenitik paslanmaz çeliğin klorlu su ile teması durumunda suyun 60 mg Cl/l'ten daha az klor içermesi ve sıcaklığın 70°C'nin altında olması da bu tür korozyonun önlenmesinde yararlıdır (Açma, 1998).

2.9 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ışın ve lazer kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin

hemen hemen hepsinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması gerekmektedir (Baylan, 2004).

Günümüzde çok yaygın olarak uygulama alanı bulan paslanmaz çelikler, değişik kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler, ancak paslanmaz çeliklerin farklı bileşimlerin, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemesi, kaynak kabiliyeti açısından kaynak problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu problemler, oluşturulacak yapıların servis ömrü açısından da önem taşırlar. Bu karakteristikleri şöyle sıralayabiliriz (Baylan, 2004).

- Paslanmaz eliklerin düşük ısı iletme katsayıları.
- Yüksek ısı genleşme katsayıları.
- Yüksek elektrik iletme direnci.
- Soğuk şekillendirmeye karşı hassasiyet.
- Kaynakta izlenen yapısal değişimler (tane irileşmesi, karbür oluşumu, sigma fazı, delta ferrit).
- Korozyona karşı hassasiyet.

2.9.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti

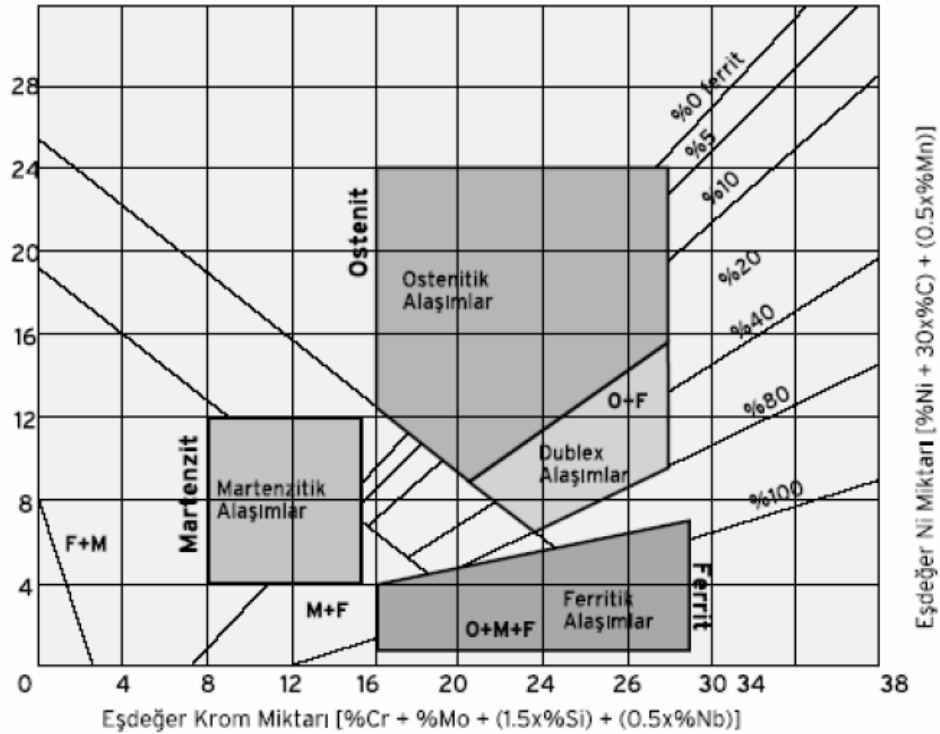
Tüm kaynaklı paslanmaz elik imalatlarının % 90'dan daha fazlasında östenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmasının nedeni iyi kaynaklanabilirliğidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde kaynaklar, çoğunlukla ana metalle karşılaştırılabilen kimyasal bileşimlere ve mekanik özelliklere sahiptirler. Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynaklanabilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından en önemli özellikleri şunlardır (Castner, 1992; Kuştutan, 2003):

- Isıl iletme katsayıları oda sıcaklığında, az alaşımlı ve karbonlu çeliklerin yaklaşık üçte biri kadardır,
- Isıl genleşme katsayıları karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin yaklaşık 1,5 katı yani % 50 fazladır,
- Bu tür çeliklerin elektrik iletme dirençleri, alaşımsız çeliklere karşın dört ila yedi kat daha büyüktür.

Bu özelliklerinden dolayı östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde sade karbonlu çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme oluşur. Kaynak dikişinin soğuması sırasında büyük ekmelerin oluşumu sonucunda bu bölgede

gözlemlenen iç gerilmeler çatlama tehlikesine yol açar. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşamaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir (Ceyhun, 1992; Woollin, 1994).

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde σ (sigma) fazının bulunması, kaynak edilebilirliklerini olumsuz yönde etkiler ve metaller arası bir bileşik olan bu sert fazın oluşabilmesi için östenitik yapı içinde bir miktarda ferrit bulunması gerekir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metallerinin mikroyapıları esas metalin mikroyapısından bir miktar farklılık gösterir. Tamamen östenitik alaşımların eşdeğer bileşimindeki kaynak metalinin az miktarda ferrit içerdiği görülür. Çeşitli elektrotların kullanımı kaynak yapısının metalurjik yapısını değiştirebilir. Bu amaçla kaynak metalinin kimyasal bileşimini saptamak üzere değişik diyagramlar geliştirilmiştir. Bu diyagramlardan bir tanesi Schaeffler Diyagramıdır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi Schaeffler Diyagramında ferrit dengeleyici elementler $Cr_{eş}$ olarak yatay eksen, östeniti dengeleyen elementler $Ni_{eş}$ olarak dikey eksen yerleştirilmiştir (Kaluç ve Tülbentçi, 1995; Önal, 1997).

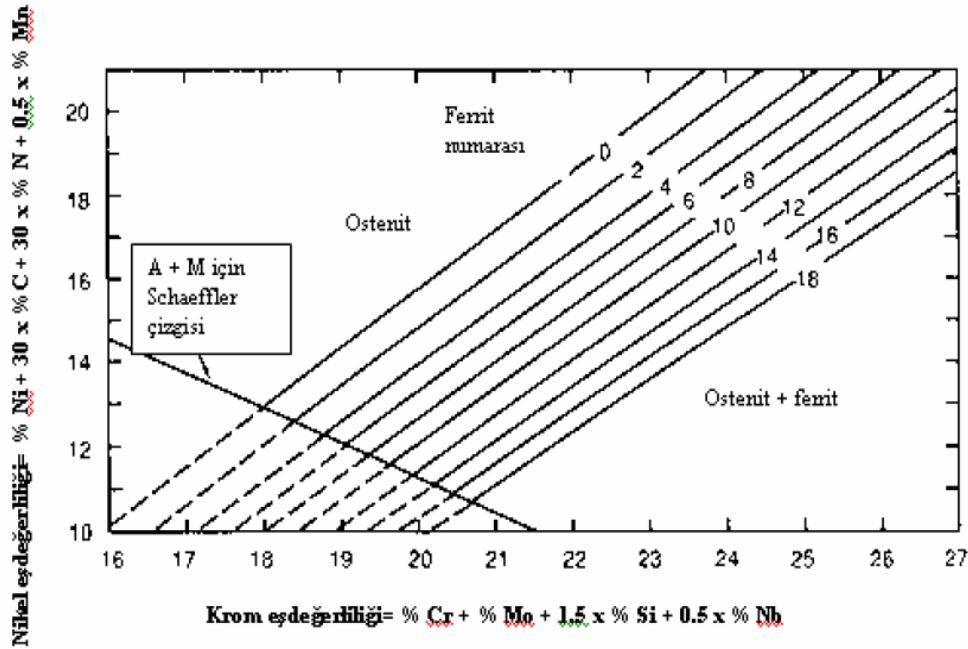


Şekil 2.4 : Schaeffler Diyagramı (Aran ve Temel, 2003).

Schaeffler diyagramında yüksek azot içerikleri dikkate alınmamıştır. Bu açıdan diyagram sadece % 0,05–0,1 N içerikleri için uygulanabilir. Bu diyagramın yüksek Mn içeren çelikler için kullanılması pek uygun değildir. Schaeffler diyagramı bugün hala paslanmaz çeliklerin üretimi, paslanmaz çelik elektrotların geliştirilmesi ve bu tür çeliklerin kaynak edilmesi konusunda çalışan birçok mühendis ve teknik eleman tarafından yaygın olarak kullanım alanına sahiptir (Önal, 1997).

Schaeffler diyagramının orta kısmında % 16'dan % 24 Cr_{eq}'ne, % 6'dan % 18 Ni_{eq}'e kadar uzanan üçgen biçiminde küçük östenitik ve ferritik içyapılı bir bölge vardır ki bu bölge iyi kaynak kabiliyetine sahiptir (Anık, 1970).

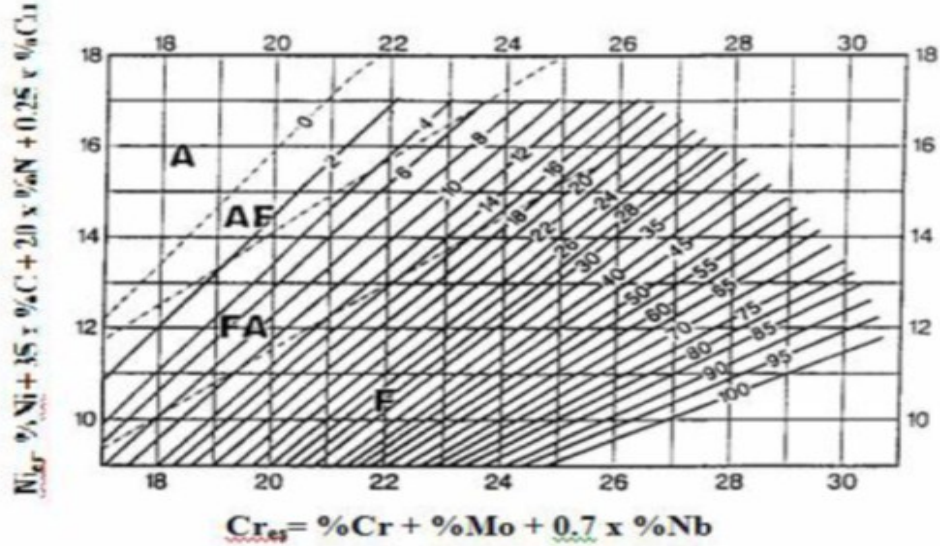
De Long Diyagramı ise azotun östenitik paslanmaz çeliğin faz dengesi üzerine başlıca etkisini gösterir. Bu diyagram da kaynak metalinin yapısında bulunacak δ-ferrit (delta ferrit) miktarının saptanması amacı ile ferrit yapıcı elementler krom, molibden, silisyum ve niyobyum, krom eşdeğeri olarak yatay eksen, östenit yapıcı elementler olan nikel, mangan, karbon ve azot miktarına bağlı olarak nikel eşdeğeri dikey eksende yerleştirilmiştir. Şekil 2.5'te gösterilen De Long Diyagramından “ferrit sayıları” ve buna bağlı olarak δ-ferrit yüzdesi okunabilir (Önal, 1997).



Şekil 2.5 : De Long Diyagramı.

Delta ferrit içeriği ve kontrolü konusu, ferrit içeriği ve kaynak metali çatlağı arasındaki ilişki nedeniyle 40 yılı aşkın zamandır ilginçliğini korumuştur. Schaeffler

ve De Long tarafından daha önce geliştirilen yapısal diyagramların yerine şimdi WRC-92 diyagramı geçmiştir. Bu diyagramlar kimyasal bileşim üstüne ferrit tahmininin doğruluğunu geliştirerek kaynak metali verisini büyük ölçüde sağlamlaştırmıştır. WRC-92 diyagramı Şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6 : WRC-92 Diyagramı.

Bu diyagram ferrit içeriklerini 100FN (ferrit numarası) kadar genişletmiştir; böylece diyagram dubleks paslanmaz çelik kaynak metalleri için de kullanılmaya başlanmıştır. Bu diyagram östenitik (A), östenitik-ferritik (AF), ferritik-östenitik (FA) ve ferritik (F) rejimlere ayrılan çizgilerle gösterildiği gibi aynı zamanda katılaşma davranışının rejimlerini de göstermektedir. Katılaşma biçimi, kaynak metali katılaşma çatlağına hassasiyeti etkilediğinden beri bu diyagramla katılaşma davranışı tahmini yapılabilmesi önemli bir katkıdır. Östenit fazından katılaşan kaynak metalleri, ferrit fazından katılaşandan daha fazla katılaşma çatlağına uğrama eğilimindedir (Dupont, 2003; Lippold, 1992).

δ-ferrit oluşumuna mani olmak için katılaşan östenitik paslanmaz çeliklerde soğumanın çok yavaş bir hızla seyretmesi gereklidir. Bu çeliğin uzun bir süre 1150°C’de tavlanması ve hızla soğutulması da önerilir. Östenit yapıcı elementler olan Ni ve Mn miktarının çeliğin bileşiminde artması δ-ferrit oluşumu olasılığını azaltır (Tülbentçi, 1985).

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan ikinci bir sorunda; özellikle 18/8 çeliği gibi bazı paslanmaz çeliklerin 450-850°C sıcaklık aralığındaki bir

sıcaklıkta uzun süre kalmaları sonucunda oluşan krom karbür çökmesi eğilimidir. Oluşan krom karbürün ağırlıkça % 90'ını Cr oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile östenit 25 tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır. Bunun sonucu olarak malzeme korozif bir ortamda kaldığında, kromca zayıflamış tane sınırında korozyon oluşur.

3. PLASTİK DEFORMASYONUN GENEL İLKELERİ

3.1 Deformasyonun Mekanizması

Metalik malzemelerin plastik deformasyonu en genel olarak belirli bir düzlemlerde ve doğrultularda atomların kayması ile gerçekleşir. Kaymanın kolaylıkla olmadığı durumlarda ise deformasyon ikizlenmesi katkıda bulunabilir. Yüksek sıcaklıklarda ve düşük deformasyon hızlarında çok kristalli metalik malzemelerin deformasyonu ise, tane sınırlarının kayması veya atomların yayınma ile yer değiştirmesi yani yayınma sürünmesi mekanizmaları ile olur. Sonuç olarak, metalik malzemelerin deformasyon mekanizmaları;

- Kayma,
- İkizlenme,
- Tane sınırlarının kayması,
- Yayınma sürünmesidir.

Metalik malzemelerin elastik veya plastik deformasyona karşı direnci atomlar arasındaki bağ kuvvetlerinden ileri gelmektedir. Plastik deformasyonu gerçekleştiren işlemler, metalik malzemelerin yapısındaki nokta, çizgi ve yüzey hataları gibi yapı hataları ile de ilgilidir (Kayalı ve Ensari, 2000).

3.1.1 Kayma

Kristal yapıdaki malzemede en önemli deformasyon mekanizması olan kayma; atom düzlemlerinden birinin komşu atom düzlemi üzerinde kayması ile gerçekleşir. Kayma, belirli kristolografik düzlemlerde ve belirli kristolografik doğrultularda dislokasyonların hareketi ile olur. Diğer bir deyişle, kayma atom yoğunluğu en fazla olan düzlemlerde (kayma düzlemi) ve kayma düzlemi üzerinde atomların en sık bulundukları doğrultularda dislokasyonların hareketi ile meydana gelmektedir (Kayalı ve Ensari, 2000).

3.1.1.1 Kritik kayma gerilmesi

Bir atom düzlemi üzerinde kayma için gereken kayma gerilmesine kritik kayma gerilmesi denir. Kayma, kayma düzlemine etki eden kayma gerilmesi etkisi ile olur. Kayma için gerekli gerilme kayma açısı 45° eşit olduğu zaman minimum seviyededir. Kritik kayma gerilmesine etki eden faktörler;

- Kimyasal bileşim
- Dislokasyon yoğunluğu
- Sıcaklık
- Deformasyon hızı

Saf metallerde kalıntı elementlerin miktarı, alaşımlarda da alaşım elementlerinin miktarı kritik kayma gerilmesini etkiler. Saflığı azaltan kalıntı elementler, kristalin yapısının sertleşmesine sebep olur. Katı eriyik alaşımlarında eriyen ve eriten atomlar arasındaki çap farkı arttıkça, alaşımın bileşiminin kritik kayma gerilmesine etkisi daha fazla olmaktadır.

Sabit dislokasyon yoğunluğuna sahip bir kristalde, dislokasyonların birbirleri ile kalıntı element atomları, ara yer atomları ve atom boşlukları gibi kristal hataları ile ilişkisi kristalin kritik kayma gerilmesini belirler. Kristalde yapı hatalarının yoğunluğu azaldıkça kritik kayma gerilmesi azalır, fakat kristal hataların yoğunluğu sıfır olduğunda yani yapı hatası olmadığında bu değer aniden yükselir. Kristal hatası olmayan bir malzemenin teorik mukavemetine çok yakındır.

Sıcaklığın kritik kayma gerilmesine etkisi, düşük sıcaklıklarda çok daha fazladır. KHM yapıdaki metallerin (Fe, W) bütün sıcaklıklardaki kritik kayma gerilmesi, KYM yapıdaki (Al) metallerden çok daha yüksek değerdedir. Deformasyon hızı arttıkça kritik kayma gerilmesi artar.

3.1.2 İkizlenme

Kaymanın kolaylıkla olmadığı durumlarda plastik deformasyona ikizlenme katkıda bulunur. İkizlenmenin olduğu kristal yapısı, başlangıçtaki yapının, ikiz düzlemi olarak adlandırılan bir düzleme göre simetriği durumundadır.

Diğer bir deyişle ikiz oluşumuyla ötelenmiş ve ötelenmemiş atomlar ikiz düzlemine göre birbirinin aynada aksidir. İkizlenmede atomlar, atomlar arası mesafenin bir kesri

kadar hareket eder. İkizlenme her kristal sisteminde belirli düzlemlerde belirli doğrultularda olur (Kayalı ve Ensari, 2000).

3.1.3 Tane sınırlarının kayması

Çok kristalli metalik malzemelerin yüksek sıcaklıklarda ve düşük deformasyon hızlarında plastik deformasyonu, tane sınırlarının kayması ve atomların yayınma ile yer değiştirmesi yani yayınma sürünmesi mekanizması ile olur.

Tane sınırlarının kayması ile taneler birbirine göre yer değiştirebilir. Bu olay, taneler yer değiştirirken tane sınırlarının birbiri ile uyum sağlayabilmesinin mümkün olduğu deformasyon şartlarında, yani yüksek sıcaklıklarda ve düşük deformasyon hızlarında olur (Dieter, 1984).

Tane sınırı çekme eksenine ile 45° açı yaptığı zaman en fazla kayma olur. Saf metaller üzerinde düşük gerilmeler altında yapılan sürünme deneylerinde toplam deformasyonun yaklaşık % 30'unun tane sınırlarının kayması ile oluştuğu ve bu oranın uygulanan gerilme artırıldığında azaldığı belirlenmiştir.

3.1.4 Yayınma sürünmesi

Çok kristalli malzemeler, deformasyon sıcaklığının ergime sıcaklığına yakın olduğu yüksek sıcaklıklarda ve düşük deformasyon hızlarında kaymadan çok, atomların uygulanan gerilme yönünde yer değiştirmesi ile yani yayınma sürünmesi ile şekil değiştirebilirler (Kayalı ve Ensari, 2000).

Atomların uygulanan gerilme yönünde yayınmaları, atom boşluklarının ise uygulanan gerilmeye dik yönde yayınmaları sonucunda taneler uzayabilir.

3.2 Malzeme Mekanik Özelliklerinin Şekillendirmeye Etkisi

Metallerin plastik şekillendirme işlemleri, iş parçasının tipine göre kütleli şekillendirme ve sac metal şekillendirme işlemleri olarak iki grupta altında sınıflandırılabilir. Kütleli şekillendirme işlemleri, her malzeme için şekillendirmenin bir sınırı olduğunu ifade eden kütleli biçimlendirebilirlik kavramı ile tanımlanmaktadır. Haddeme, dövme, ekstrüzyon, çubuk çekme gibi plastik şekil verme yöntemleri bu grup içinde sayılabilir (Dieter, 1984).

Sac metalleri şekillendirme işlemleri ise, sac şekillendirme sınırını belirleyen şekillendirebilirlik kavramı ile tanımlanmaktadır. Derin çekme, bükme, kesme, gererek şekillendirme sac şekillendirme yöntemleri arasında sayılmaktadır. Şekillendirilecek parçalar, haddelenmiş saclar halindedir ve kalınlıkları diğer boyutlara göre oldukça küçük olduğundan büyük yüzey/hacim oranına sahiptir. Şekillendirme sonucunda sac metalde şekil olarak büyük değişimler olmasına rağmen, sac kalınlığında küçük değişimler meydana gelmektedir. Sac şekillendirme işlemlerinde, plastik şekil değişimi genellikle çekme gerilmeleri altında yapılmakta, elastik şekil değişimleri ise çoğunlukla etkili olmaktadır (Dieter, 1984).

Sac metal parçaları imalatında değişik şekillendirme teknikleri ile seri üretim yapılmasına rağmen, birçok durumda kalıp ve parça tasarımı hala tecrübelerle güvenilerek yürütülmektedir. Çünkü sac şekillendirme işlemlerindeki değişken sayısı oldukça fazladır ve bunların birbiri ile etkileşimleri oldukça karmaşıktır. Bu değişkenler malzeme değişkenleri; pekleşme üstü “n”, şekil değişim hızı duyarlılığı “m”, plastik anizotropi “r”, sac kalınlığı, tane büyüklüğü ve işlem değişkenleri olan zımba, kalıp tasarımı, yağlama vb. sacın şekillendirilebilirliği üzerinde büyük öneme sahiptir. Sac metallerin şekillendirilebilirliği büzülme kırılma gibi herhangi bir malzeme kararsızlığı olmaksızın en büyük şekil değişimi miktarı olarak tanımlanır.

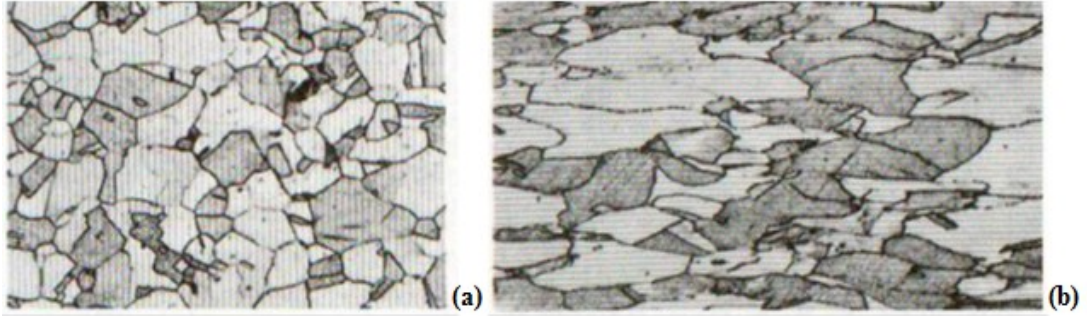
Sac şekillendirme işleminde amaç, malzemenin kritik şekil değişim sınırı altında mümkün olduğunca üniform şekil değişimi elde etmektir. Eğer bu sınır aşılsa şekillendirme sırasında hasar meydana gelecektir. Plastik anizotropi değeri r ve pekleşme üsteli değeri n, şekillendirmeyi doğrudan etkileyen, standart mekanik özellikler olarak kabul edilmektedir. Sac şekillendirebilirliğini etkileyen malzeme değişkenleri, çekme deneyi sonucu elde edilen akma noktası, elastik modül, pekleşme üsteli, deformasyon hızına duyarlılık katsayısı, plastik anizotropi değerleri olarak sayılabilir (Dieter, 1984).

3.3 Soğuk Şekillendirme Yoluyla Mukavemet Artışı

Soğuk işlem malzemeye plastik şekil verme yöntemleri ile uygulanır. Plastik şekillendirme hem dislokasyonların hareketini sağlar, hem de yeni dislokasyonların oluşumuna sebep olur. Soğuk işlem sonunda mukavemet artması deformasyon sertleşmesi nedeniyle. Deformasyon sertleşmesi, dislokasyonların birbirleri ile ve dislokasyonların hareketini zorlaştıran çeşitli engeller ile etkileşimi sonucunda olur.

Soğuk işlem ile malzeme mukavemetindeki artış soğuk işlem miktarı ile orantılıdır. Tavlanmış bir malzemede dislokasyon yoğunluğu $10^6 - 10^8$ adet/cm² civarındadır. Fazla miktarda soğuk işlem görmüş bir malzemede ise dislokasyon yoğunluğu yaklaşık olarak 10^{12} adet/cm² değerine ulaşmıştır (Kayalı ve Ensari, 2000).

Soğuk işlem sonucunda malzemenin taneleri uzar ve belirli kristolografik doğrultuda yönlenirler. Tanelerde dislokasyon yoğunluğunun artması yanında birçok atom boşluğu da meydana gelir, aynı zamanda malzemenin yoğunluğunda bir miktar azalma meydana gelir (Kayalı ve Ensari, 2000).



Şekil 3.1 : (a) Soğuk deformasyon öncesi, (b) Soğuk deformasyon sonrası mikroyapılar (Ün, 2007).

Soğuk işlem sonucunda malzeme yapısında meydana gelen dislokasyon yoğunluğunun malzemenin mukavemetine etkisi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$\sigma_p = \sigma_i + \alpha G b \rho^{1/2} \quad (3.1)$$

Burada;

σ_p : Plastik deformasyon gerilmesi

σ_i : Sürtünme gerilmesi

G: Kayma elastiklik modülü

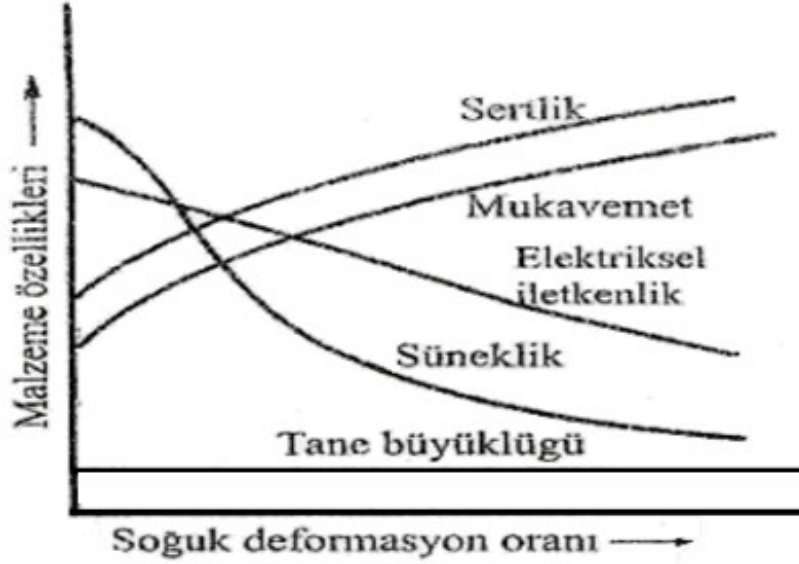
b: Burgers vektörü

ρ : Dislokasyon yoğunluğu

α : Bir sabit (genellikle 0,3 ile 0,6 arasındadır)

Soğuk işlem sonucunda sarf edilen enerjinin bir kısmı dislokasyon enerjisine çevrilir, bir kısmı ise ısı halinde kaybolur. Böylece enerjinin büyük bir kısmı dislokasyon enerjisi halinde malzeme içinde depo edilmiş olur. Soğuk işlemde deformasyon miktarına bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim şekilde görülmektedir (Kayalı ve Ensari, 2000).

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, soğuk deformasyon sonucunda malzemelerin sertlik ve mukavemeti artarken, süneklik ve elektriksel iletkenliği azalır, tane büyüklüğü ise pek değişmez. Söz konusu değişimler, malzemenin kafes ve tane yapılarında meydana gelen çarpılmalardan kaynaklanır. Çarpılma, dislokasyon hareketini zorlaştırdığı için malzemenin sertlik ve mukavemetinin artmasına, elektron hareketini zorlaştırdığı için de elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olur.



Şekil 3.2 : Soğuk işlem oranının mekanik özelliklere etkisi (Savaşkan, 2004).

Metalik malzemelerde soğuk işlem miktarı sınırlıdır. Çünkü belirli bir soğuk işlem miktarında malzemenin sünekliği sıfıra iner. Soğuk işlem sırasında atom boşluklarının meydana gelmesi ve bunların yoğunlaşması soğuk işlem miktarı arttıkça artması malzemede çatlaklara sebep olur. Çatlak oluşumunu önlemek ve soğuk işlemle azalan sünekliği arttırmak amacıyla malzeme soğuk işlem sırasında zaman zaman tavlanır (Kayalı ve Ensari, 2000).

Tavlama ile yüksek sıcaklıkta bir süre tutulan malzemenin soğuk işlem yapısı bozulur. Malzeme yapısının değişimini toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi olmak üzere başlıca üç safhada incelemek mümkündür.

3.3.1 Toparlanma

Bu safhada soğuk işlenmiş malzemelerdeki dislokasyonlar yeni bir düzene girerler. Bu düzen dislokasyonların daha düşük enerjiye sahip oldukları durum olup, poligonizasyon olarak isimlendirilir. Poligonizasyon durumunda dislokasyonlar küçük açılı sınırlar meydana getirirler. Küçük açılı bir sınır, kenar dislokasyonları

tarafından oluşturulmuşsa eğim sınırı, vida dislokasyonları tarafından oluşturulmuşsa büküm sınırı olarak isimlendirilir. Böylece dislokasyonlar yapıda alt taneler meydana getirmiş olur. Şekil 3.3'te soğuk işlem sonrası toparlanmanın mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi görülmektedir. Toparlanma safhasında malzemenin mukavemet ve sertliğinde önemli bir değişim olmaz. Bu safhada malzemenin elektrik iletkenliği artar, x-ışınları ile ölçülen iç gerilme ve latis distorsiyonunda azalma olur. Bu özellikler malzeme yapısındaki nokta hatalarına bağlı özelliklerdir.

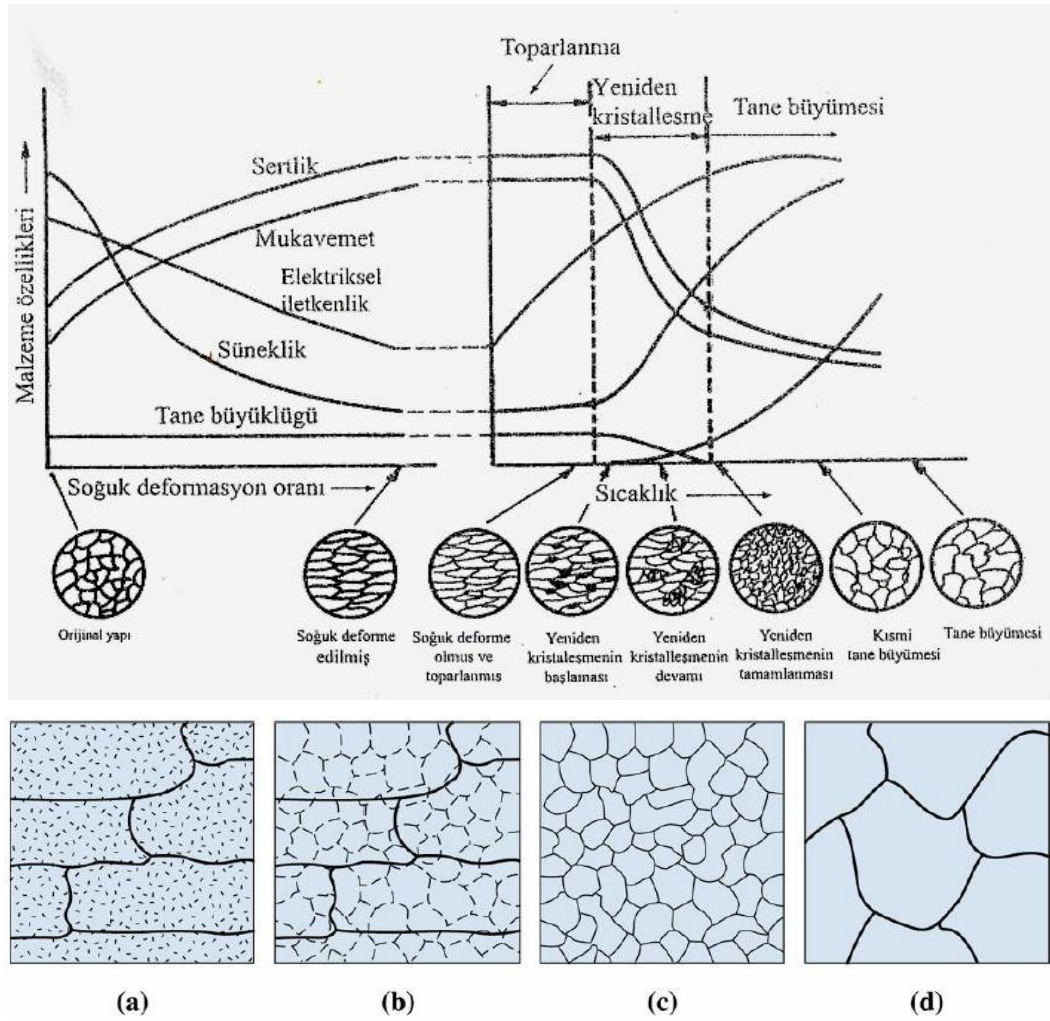
3.3.2 Yeniden kristalleşme

Bu safhada dislokasyon içeren toparlanmış taneler kaybolur ve yerine yeni taneler çekirdeklenir. Çekirdeklenme genellikle hatalı bölgelerde, tane sınırlarında meydana gelir. Toparlanmış tanelerdeki dislokasyonlar yeni oluşan tanelerin sınırlarına kaçarlar. Böylece içlerinde dislokasyon miktarı çok az olan veya dislokasyon bulunmayan küçük yeni taneler oluşur ki bu yapıya yeniden kristalleşmiş yapı adı verilir. Yeniden kristalleşmiş yapıda soğuk işlemin etkisi tamamen giderildiği için uygulamada önemi çok büyüktür. Yeniden kristalleşme ile malzemenin mukavemet ve sertliğinde önemli ölçüde azalma, sünekliğinde ise artma olur. Yeniden kristalleşme ile dislokasyon yoğunluğu da önemli ölçüde azalmıştır ve deformasyon sertleşmesinin etkisi tamamen giderilmiştir (Kayalı ve Ensari, 2000).

Yeniden kristalleşme sıcaklığı, malzemenin pratik olarak bir saat içinde % 50'sinin yeniden kristalleştiği sıcaklıktır ve yaklaşık olarak malzemenin ergime sıcaklığının $1/3$ 'ü ile $1/2$ 'si arasındadır. Malzemelerin yeniden kristalleşme sıcaklığı sabit olmayıp soğuk işlem miktarı, kimyasal bileşim, ilk tane boyutu, tav süresi ve malzemenin ergime sıcaklığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Şekil 3.3'te soğuk işlem sonrası yeniden kristalleşmenin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi görülmektedir (Kayalı ve Ensari, 2000).

3.3.3 Tane büyüklüğü

Yeniden kristalleşen taneler, tavlama sıcaklığında uzun süre tutulursa veya yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda tavlınırsa yayınma ile zamanla büyürler. Tanelerin büyümesi, tavlama süresi ve sıcaklığa bağlıdır. Şekil 3.3'te soğuk işlem sonrası tane büyümesinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi görülmektedir (Kayalı ve Ensari, 2000).



Şekil 3.3 : Soğuk işlem oranının ve soğuk işlemden sonraki tavlama sıcaklığının mekanik özellik ve mikroyapıya etkisi, (a) Soğuk işlem görmüş, (b) Toparlanma sonrası, (c) Yeniden kristalleşme sonrası ve (d) Tane büyümesi sonrası.

Malzeme yapısında küçük ikinci faz tanelerin bulunması tane sınırlarının hareketini kısıtlar, dolayısı ile tane büyümesini geciktirir. Tane büyümesi ile malzemenin mukavemet ve sertliğinde azalma olur (Savaşkan, 2004; Kayalı ve Ensari, 2000).

3.4 Deformasyon Oranı

Soğuk işlemde deformasyon oranı büyüdükçe malzeme dayanımındaki artış fazla olmaktadır. Bu artış beraberinde sertlik artışını getirerek malzemenin şekil alma kabiliyetini azaltmaktadır. Soğuk deformasyon oranı şu eşitlikten hesaplanmaktadır (Vural, 1995);

$$\text{Deformasyon Oranı} = \varepsilon_p = \ln \frac{S_0}{S_1} \quad (3.2)$$

4. AISI 304 VE 430 KALİTE PASLANMAZ ÇELİKLER

4.1 AISI 304 Kalite Östenitik Paslanmaz Çelik

AISI 304 kalite paslanmaz çelik, paslanmaz çeliğin temel çeşitlerinden biri olup, en yaygın kullanılanıdır. Bu paslanmaz çelik kalitesi; kimyasal bileşiminin, mekanik özelliğinin, kaynak yapılabilirliğinin ve korozyon-oksidasyon direncinin fiyatına oranla çok iyi olması sebebiyle tercih edilir. Bu kalitedeki malzemelerin korozyona dayanımı 303 kalite paslanmaz çeliklere oranla daha yüksektir. 304 paslanmazların düşük sıcaklıklardaki özellikleri ve işleme sertleştirmesine verdiği tepki mükemmelere yakındır. AISI 304 kalite paslanmaz, östenitik paslanmazlar grubuna girmektedir.

En yaygın paslanmaz çelik kalitelerinden biri olan 304 paslanmaz çelik; kimya, petrokimya, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, otomotiv yan sanayi, gıda sanayi ve buna benzer çeşitli alanlarda sıkça kullanılır (Url-2).

Çizelge 4.1 : AISI 304'ün mekanik özellikleri (Url-3).

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme mukavemeti	500-700 MPa
Akma mukavemeti (% 0,2)	≥ 190 MPa
Sertlik, Brinell (HB)	≤ 215

4.1.1 Genel özellikler (304)

- Bu paslanmaz kalitesi 1.4301 kalite paslanmaz olarak da adlandırılır ve östenitik paslanmazlar sınıfına girer.
- Bu paslanmaz çelik kalitesindeki malzemelere iyi şekil verilebilir ve iyi kaynak yapılabilir.
- Bu kalitedeki paslanmazlar mıknatıs çekmez ve yüksek bir korozyon direncine sahiptir (Url-2).

4.2 AISI 430 Kalite Ferritik Paslanmaz Çelik

AISI 430 kalite paslanmaz çelik özellikleri bakımından ferritik sınıfına giren, düşük karbonlu ve krom içerikli bir paslanmaz çelik kalitesidir. 430 paslanmaz malzemelerin kaynak yapılabilirliği sınırlıdır. Öte yandan 430 paslanmaz çelikler nikel ve molibden içermedikleri için 300 serisi paslanmaz çeliklere oranla fiyat açısından daha uygunlardır. Bu kalitedeki paslanmazlar kullanıldığı malzemelerde iyi bir yüzey görünümü sağlarlar. AISI 430 kalite paslanmaz çelik malzemeler nikel içermediği için mıknatıslanma yapabilir. 430 kalite paslanmaz çelik 1.4016 paslanmaz çelik olarak da adlandırılmaktadır.

AISI 430 paslanmaz çelik çubuk ve bu kaliteden üretilen malzemelerin kullanımı son dönemlerde dünyada ve Türkiye'de hızlı bir biçimde artış göstermektedir. Bu kalitedeki malzemelerin hareketli parçalarda ve çarpışmanın olduğu parçalarda kullanılması tavsiye edilmemektedir. 430 paslanmaz çubuk çeşitli şekillerde işlenerek dekoratif amaçlı yapılarda, otomotiv endüstrisinde, yıkama makinelerinde, parlak yüzey istenen uygulamalarda, ev gereçlerinde ve mutfak eşyalarında kullanılmaktadır. Özellikle bulaşık makinelerinde ve buzdolaplarında sıklıkla 430 kalite malzemeler kullanılmaktadır (Url-2).

Çizelge 4.2 : AISI 430'un mekanik özellikleri (Url-3).

Mekanik Özellikler	Değerler
Çekme mukavemeti	400-630 MPa
Akma mukavemeti (% 0,2)	≥ 240 MPa
Sertlik, Brinell (HB)	≤ 200

4.2.1 Genel özellikler (430)

- 430 kalite paslanmaz çelik, ferritik paslanmazlar grubuna girmektedir.
- 430 ya da 1.4016 paslanmaz, dünyada ve ülkemizde kullanımı hızlı bir şekilde artış gösteren bir paslanmaz çelik kalitesidir.
- 430 kalite paslanmaz çelikler parlatmaya (polisaja) ve şekillendirmeye uygunluğu ile bilinmektedir.
- 430 paslanmaz çelik malzemeler mıknatıs çeker.
- 430 kalite paslanmazların korozyon direnci düşüktür (Url-2).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik çubuklar kullanılmıştır. Paslanmaz çelik çubuklar ticari firmalardan satın alınmıştır. Deneylerde kullanılan AISI 304 ve 430 paslanmaz çeliklerin standartlarda verilen kimyasal bileşimleri ve yapılan kimyasal analizlerin sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Satın alınan paslanmaz çelik çubukların kimyasal bileşim analiz değerleri standartlarda verilen bileşim değerlerini karşılamaktadır.

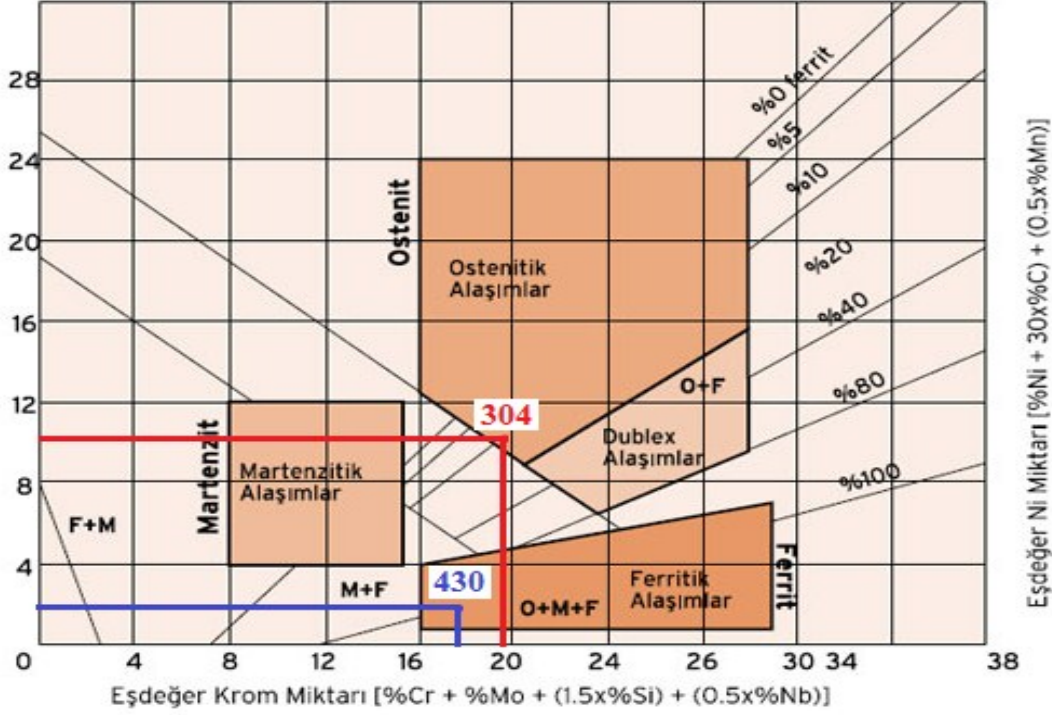
Çizelge 5.1 : AISI 304 ve 430 paslanmaz çeliklerin standartlarda verilen kimyasal bileşimleri ve yapılan kimyasal analizlerin sonuçları.

Çelik Kalitesi		% Ağırlık						
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
AISI 304	Standart Bileşim	0,08 max	2,0 max	0,045 max	0,03 max	0,75 max	18,0-20,0	8,0-10,5
	Analiz Sonuçları	0,0349	1,5037	0,0418	0,0295	0,4778	18,2927	8,0913
AISI 430	Standart Bileşim	0,12 max	1,0 max	0,045 max	0,03 max	1,0 max	16,0-18,0	0,75 max
	Analiz Sonuçları	0,0402	0,4986	0,0436	0,0092	0,5481	16,7702	0,2580

Analiz sonuçlarına göre deneylerde kullanılan AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin Cr ve Ni eşdeğerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.2) ve Schaeffler diyagramındaki bölgeleri işaretlenmiştir (Şekil 5.1).

Çizelge 5.2 : Deneylerde kullanılan AISI 304 ve 430 paslanmaz çeliklerin Cr ve Ni eşdeğerleri.

	AISI 304	AISI 430
Cr _{eş}	19,3096	17,62675
Ni _{eş}	9,89015	1,7133



Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan AISI 304 ve 430'un Schaeffler diyagramındaki bölgeleri.

5.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

- Metacut marka kesme cihazı
- Bakalite alma cihazı
- Zımparalama ve parlatma cihazı
- Elektrolitik dağlama cihazı
- Olympus marka ışık mikroskobu
- Mikro sertlik ölçüm cihazı
- Basma ve çekme cihazı
- Elektrik dirençli ısıtma işlem fırını

Şekil 5.2'de ve Şekil 5.3'te deneylerde kullanılan basma ve çekme cihazı ile elektrik dirençli fırın gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Basma ve çekme cihazı.



Şekil 5.3 : Elektrik dirençli fırın.

5.3 Deneylerin Yapılışı

5.3.1 Metalografik inceleme deneyleri

10 mm çaptaki AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik çubuklar kesme cihazında kalıplama için uygun boyutlarda kesilmiştir. Kalıplama cihazında bakalit kalıba alınmıştır. Numuneler sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama kademelerinden geçirilerek metalografik incelemeye hazır hale getirilmiştir. Parlatma işleminde 1 µm'lik elmas pasta kullanılmıştır. Parlatma işleminden sonra dağlama yapılmıştır. Dağlama elektrolitik olarak yapılmıştır (Şekil 5.4). Dağlayıcı olarak oksalik asit ($H_2C_2O_4$) kullanılmıştır. Akım 0,2 A, voltaj ise 3,5-4 V arasında seçilmiştir.



Şekil 5.4 : Elektrolitik dağlama düzeneği.

Dağlamadan sonra numune ışık mikroskopunda incelenmiştir. Gerekli mikroyapı incelemeleri ışık mikroskopunda yapılmıştır ve fotoğrafları çekilmiştir.

5.3.2 Mikro sertlik ölçme deneyleri

Sertlik ölçme çalışmalarında Vickers sertlik metodu kullanılmıştır. Yük olarak 100 gf kullanılmıştır. Sertlik ölçümünde birçok değer alınarak hata oranı en aza indirgenmiştir. Bulunan bütün değerlerin ortalamaları alınarak en doğru sertlik değerine ulaşılmaya çalışılmıştır.

5.3.3 Çekme testleri

AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin hem alındığı halde, hem de tavlama ısı işlemi yapıldıktan sonra çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri ile satın alınmış

hallerinin ve ısıtıl işlem yapıldıktan sonraki hallerinin mekanik özellikleri belirlenmiştir.

5.3.4 Soğuk deformasyon işlemleri

Soğuk deformasyonlar universal çekme-basma cihazında basma ve çekme işlemleri ile gerçekleştirilmiştir. Basma işleminde çap büyümesine bağlı olarak deformasyon oranları belirlenmiştir. Çekme işlemi ile deformasyon malzemenin boyun vermesiyle sonlandırılmıştır. Boyun bölgesindeki çap değişimine bağlı olarak deformasyon oranları belirlenmiştir.

5.3.5 Isıl işlem deneyi

AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklere tavlama ısıtıl işlemi yapılmıştır. Tavlama sıcaklıkları AISI 304 için 1060°C, AISI 430 için ise 760°C seçilmiştir. Paslanmaz çelik çubuklar fırında yaklaşık 1 saat bekletildikten sonra suda soğutulmuşlardır.

5.3.6 Korozyon deneyi

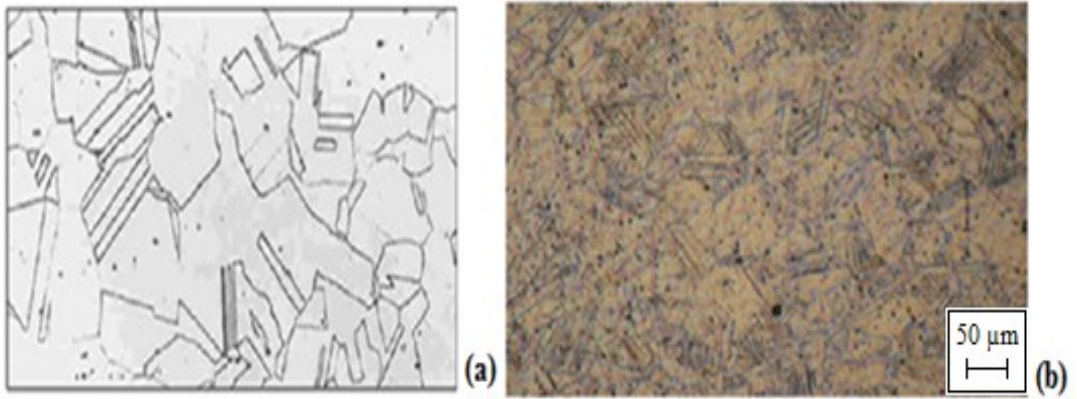
Paslanmaz çeliklerin korozyon direnç deneylerinde potansiyel fark ölçümleri yapılır ve polarizasyon eğrileri çizilir. Korozyon deneyleri olarak mikroyapısal incelemeler de yapılmaktadır. Potansiyel farkı ölçümleriyle yapılan korozyon deneylerinde akım yoğunluğu gibi birçok değişkenler ayarlanarak ölçümler yapılır ve elektrokimyasal denklemler kullanılarak hesaplamalar yapılır (Stern-Geary, Nernst denklemleri gibi).

Deneyisel çalışmaların son aşaması olarak yapılan korozyon deneyleri hızlı korozyon deneyleri olarak tanımlanan tarzda yapılmıştır. AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelikler için korozyon ortamı olarak 1 M HCl asit seçilmiştir. Derişik HCl asit çözeltisi paslanmaz çelikleri çok çabuk korozyona uğratmaktadır. Bu yüzden AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklere hızlı korozyon testi uygulanmıştır. 1 M HCl asit içerisinde 1 saat ve 5 saat bekletilen paslanmaz çeliklerin korozyon davranışları bu sürelerin sonunda makro ve mikro olarak gözlemlenmiştir. Bu sürelerin sonunda korozyon ortamından alınan paslanmaz çelikler suyla yıkanıp alkolle temizlendikten sonra ışık mikroskobunda incelenmiştir ve mikroskobun en küçük objektifi ile fotoğrafları çekilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

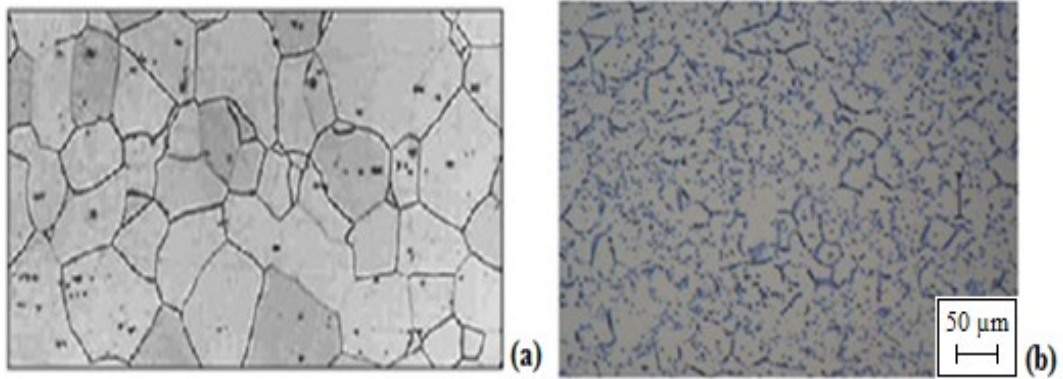
6.1 Metalografik Çalışma Sonuçları

Metalografik olarak hazırlanan ve elektrolitik olarak dağlanan AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapılarının ışık mikroskobundaki görüntü fotoğrafları Şekil 6.1’de ve Şekil 6.2’de verilmiştir;



Şekil 6.1 : AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri:
(a)Literatürden alınmış mikroyapı görüntüsü. (b)Metalografik olarak hazırlanan mikroyapı görüntüsü.

Şekil 6.1’deki her iki görüntü de ikizlenmeleri içeren tipik östenitik paslanmaz çelik mikroyapısındadır. Çökelmiş karbürler de yer almaktadır.



Şekil 6.2 : AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri:
(a)Literatürden alınmış mikroyapı görüntüsü. (b)Metalografik olarak hazırlanan mikroyapı görüntüsü.

Şekil 6.2’de görülen ferritik yapılar Şekil 6.1’de görülen östenitik yapılardan farklıdır. Ferritik yapılar ikizlenmeler içermemektedir. Yapıda serpilmiş karbürler bulunmaktadır.

6.2 Mikro Sertlik Ölçüm Sonuçları

Mikro sertlik cihazında yapılan sertlik ölçümleri ile AISI 304’ün sertlik değeri 274 HV, AISI 430’un sertlik değeri ise 214 HV olarak bulunmuştur. Bulunan sertlik değerleri literatürde tavlınmış haldeki malzemeler için verilen değerlerden daha yüksektir.

Çizelge 6.1 : Deforme edilmemiş AISI 304 ve 430’un sertlik değerleri.

Paslanmaz Çelik	Sertlik (HV)
Deformasyona uğramamış AISI 304 östenitik paslanmaz çelik	274
Deformasyona uğramamış AISI 430 ferritik paslanmaz çelik	214

6.3 Çekme Testlerinin Sonuçları

AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklere ısıtılma işlemi öncesinde ve sonrasında çekme testleri yapılmıştır. Çekme testlerinin sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2 : AISI 304 ve 430’a uygulanan çekme testlerinin sonuçları.

MEKANİK ÖZELLİKLER	Bulunan Değerler			
	Isıl İşlem Yapılmamış		Isıl İşlem Yapılmış	
	AISI 304	AISI 430	AISI 304	AISI 430
Akma Gerilmesi, N/mm ²	710	505	250	320
Çekme Dayanımı, N/mm ²	833	583	590	520
Kopma Uzaması, ($l_0=5D_0$), %	14,6	18,1	60	30
Çekme / Akma	1,17	1,15	2,36	1,63

Çizelge 6.2’ye göre ısıtılma işlemi yapılmamış halde AISI 304’ün hem akma gerilmesi ve hem de çekme dayanımı AISI 430’a göre yüksektir. Ancak bu iki paslanmaz çelik kalitenin ısıtılma işlemi yapılmamış haldeki çekme dayanımı-akma gerilmesi oranları 1,17 ve 1,15 değerlerindedir ve birbirine yakındır. Isıtılma işlemi yapıldıktan sonra akma

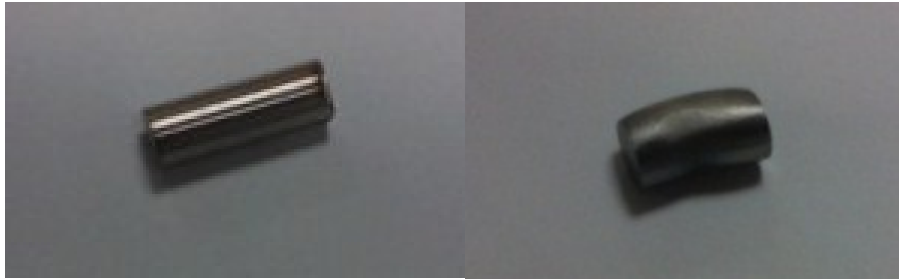
gerilmesi deęerleri AISI 304 kalite çelikte 250 N/mm², AISI 430 kalite çelikte 320 N/mm² deęerlerine dūřmūřtur. Çekme dayanımı-akma gerilmesi oranları da AISI 304 kalite çelikte 2,36 ve AISI 430 kalite çelikte 1,63 olmuřtur. Yani, yapılan ısıı iřlemle her iki kalite paslanmaz çelięin çekme dayanımı-akma gerilmesi oranları artmıřtır, AISI 304 kalite çelikte artıř daha yūksektir. Bu sonuçlar satın alınan çeliklere soęuk deformasyon iřlemi uygulanmıř olduęunu gōstermektedir. Soęuk iřlemin etkisi AISI 304 kalite çelikte daha yūksektir.

6.4 Basma İşlemi ile Sağlanan Deformasyon

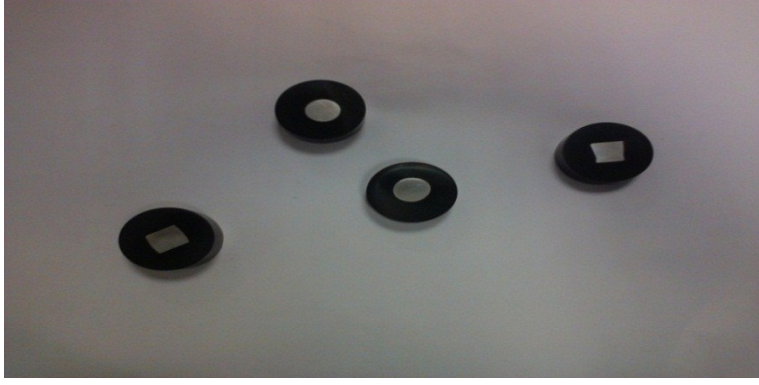
Basma işlemi ile ilk çapları 10 mm olan AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin son çapları 12 mm'ye arttırılmıştır. Malzemelerin boyu kısıılırken fiılaşma meydana gelmiştir. Elde edilen deformasyon (3.2) bağıntısındaki gibi hesaplanmıştır;

$$\begin{aligned} \% \text{ Deformasyon} &= \ln \frac{\pi \cdot (5)^2}{\pi \cdot (6)^2} \times 100 \\ &= \% -36 \end{aligned} \quad (6.1)$$

Eksi (–) ıkmasının nedeni, basma iřlemi sonrasındaki kesit alanının ilk kesit alanından būyūk olmasıdır. Malzeme basma iřleminden sonra sıkıřmıřtır ve son çap ilk çaptan daha būyūktür. Paslanmaz eliklerin basma iřleminden sonraki gōrūntūleri řekil 6.3'teki gibidir. Basma iřlemi ile deformasyona uęratılan AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin bir yarısı en kesiti, dięer yarısı boy kesiti incelenmek ūzere ikiye bōlūnmūřtur ve bakalit kalıba alınmıřtır (řekil 6.4).



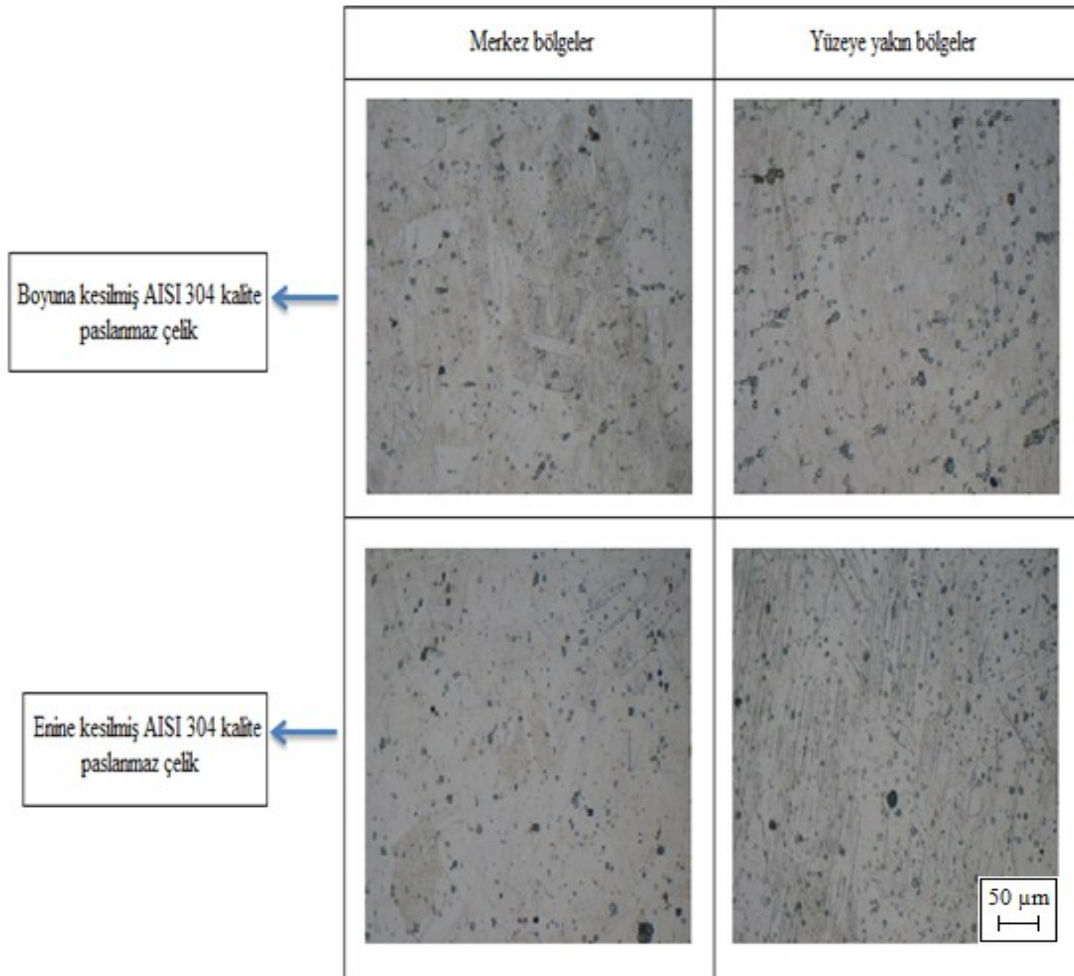
řekil 6.3 : Basma iřlemi ūncesi ve sonrası paslanmaz çeliklerin gōrūntūleri.



Şekil 6.4 : Basma işlemi sonrası enine ve boyuna kesilmiş paslanmaz çelik numunelerin bakalite alınmış görüntüleri.

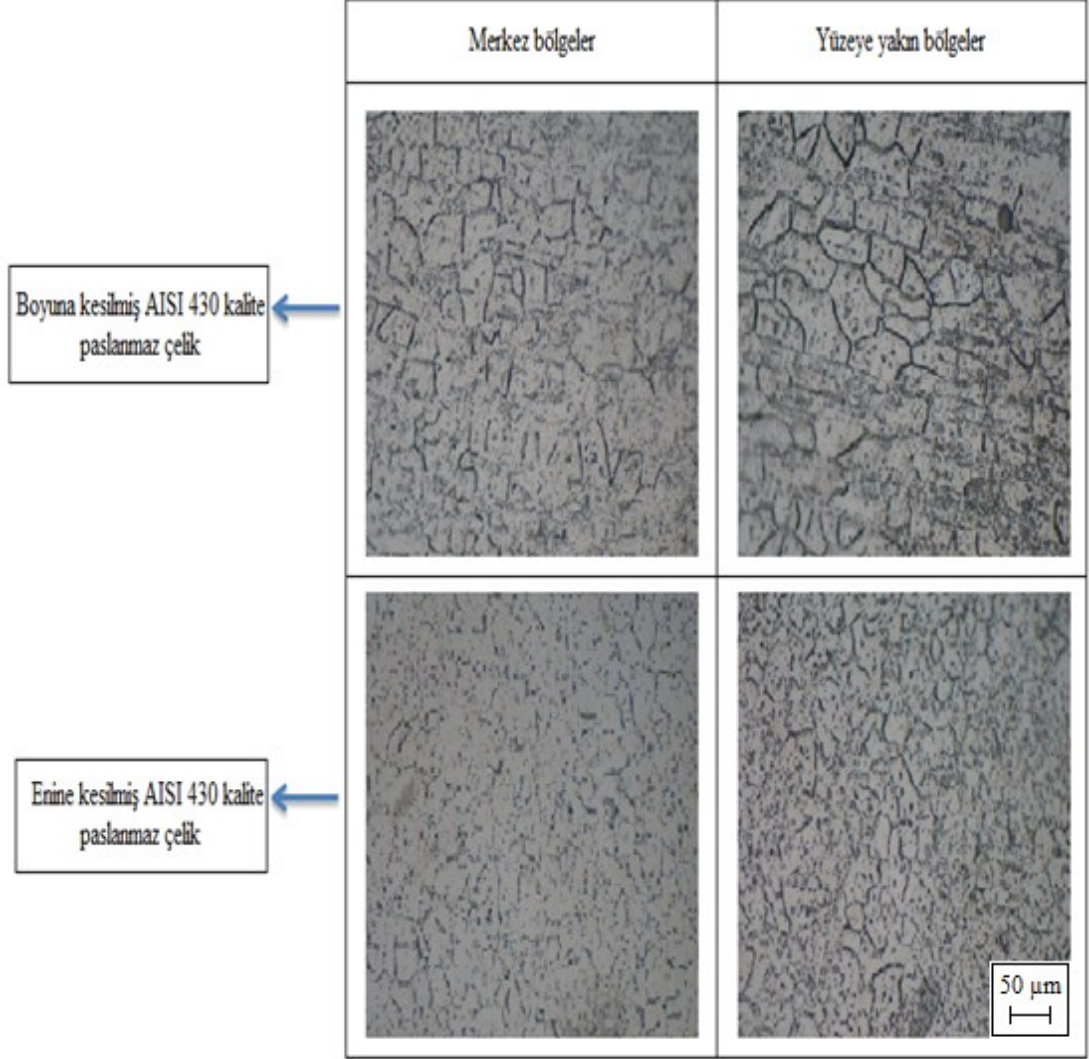
6.4.1 Basma işlemi sonrası metalografik çalışma sonuçları

Şekil 6.4’te bakalite alınmış AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik numuneler metalografik olarak hazırlanmıştır ve ışık mikroskobunda incelenerek görüntü fotoğrafları çekilmiştir (Şekil 6.5 ve Şekil 6.6).



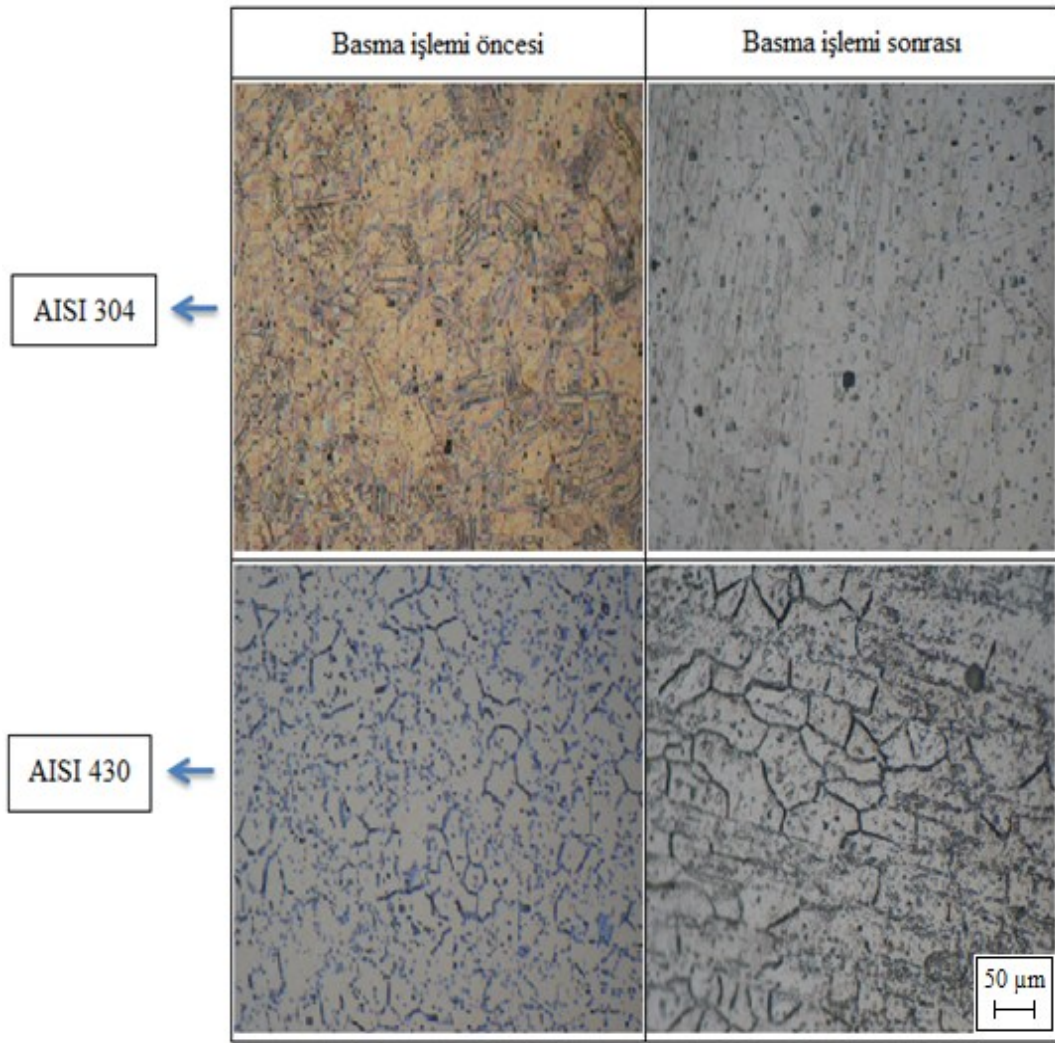
Şekil 6.5 : Basma işlemi sonrası enine ve boyuna kesilen AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.5'te görüldüğü gibi basma işlemi sonrasında deformasyonun etkileri tanelere yansımıştır. Deformasyon sonrasında tanelerin uzadığı görülmektedir. Ayrıca yüzeye yakın bölgelerde deformasyonun daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölgelerde mekanik ikizlenmeler ve kayma bantları daha belirgindir. AISI 304'ün mikroyapısında deformasyona bağlı olarak α' martenzit fazı da oluşmuştur.



Şekil 6.6 : Basma işlemi sonrası enine ve boyuna kesilen AISI 430 kalite paslanmaz çeliğin mikroyapı görüntüleri.

Şekil 6.6'daki AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin mikroyapılarında deformasyona bağlı olarak distorsiyonlar meydana gelmiştir. Taneler basma işleminin sonucunda sıkışmaya bağlı olarak şekil değiştirmiştir. Özellikle yüzeye yakın bölgelerde tanelerin daha çok şekil değiştirdiği açıkça görülmektedir. Şekil 6.7 basma işlemi öncesinde ve sonrasında AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapıları arasındaki farkları göstermektedir.



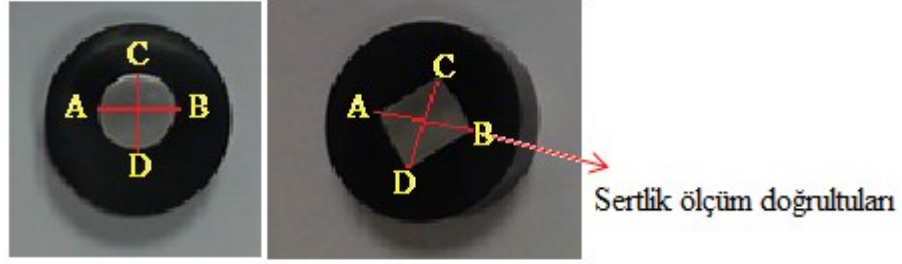
Şekil 6.7 : AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin basma işlemi ve öncesi sonrasında elde edilen mikroyapı görüntülerinin karşılaştırılması.

Basma işlemi öncesinde içyapıda daha düzgün ve homojen bir şekilde dağılım gösteren tanelerin deformasyonla birlikte uzayıp şekil değiştirdikleri görülmektedir. Daha düzgün bir yapıda olan taneler yerini düzensiz ve distorsiyona uğramış tanelere bırakmıştır.

6.4.2 Basma işlemi sonrası sertlik sonuçları

Basma işlemi ile deforme edilmiş AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin enine ve boyuna kesitleri alınan numunelerinin sertlikleri çap boyunca ölçülmüştür. Numunelerin farklı bölgelerindeki sertlik değerlerinde farklılıklar vardır. Ayrıca deformasyonla sertlik değerlerindeki değişme numunelerde farklılıklar göstermektedir. AISI 304 deformasyona bağlı olarak daha fazla sertleşmiştir. Ayrıca AISI 304 ve 430 için de yüzeye yakın bölgelerde deformasyonun daha fazla etkili olduğu belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri farklı iki çap doğrultusunda yapılmıştır.

Şekil 6.8’de her iki çeşit paslanmaz çelik için de sertlik ölçüm doğrultuları görülmektedir.



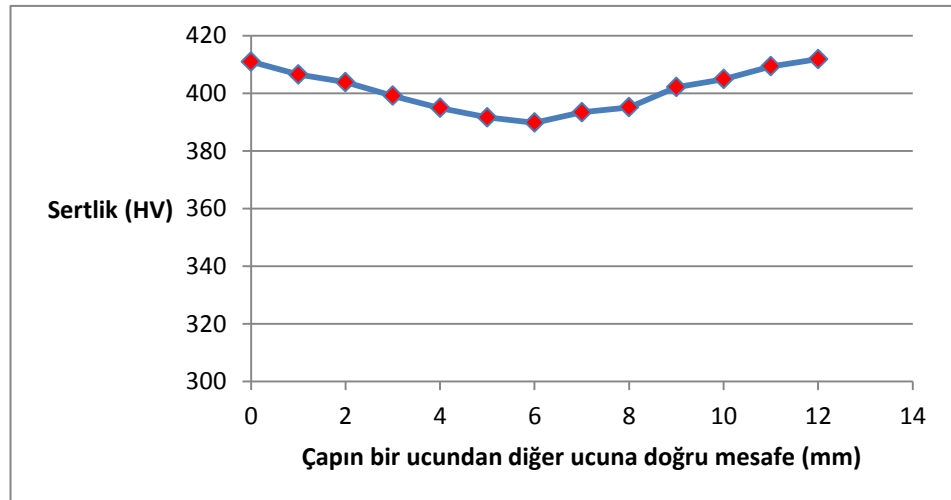
Şekil 6.8 : Basma işleminde AISI 304 ve 430 için sertlik ölçümü doğrultuları.

6.4.2.1 AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası boyuna kesitinin sertlik analizi

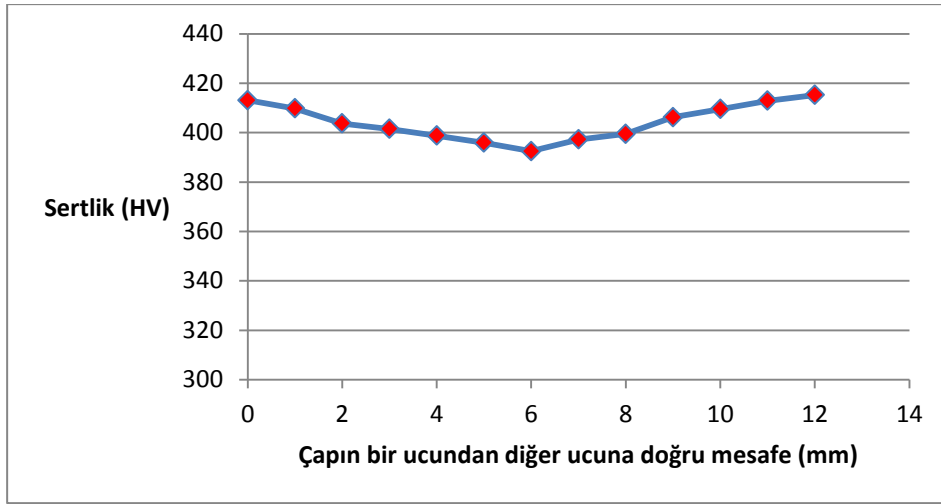
AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrasında boyuna kesitinin her iki çap boyunca ölçülen ortalama sertlik değeri 402,5 HV’dir. Deforme edilmemiş haline göre sertliğinde % 46’lık bir artış olmuştur. Şekil 6.9’da ve Şekil 6.10’da, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin boyuna kesitinin basma işlemi sonrasında farklı çap doğrultularındaki sertlik değişimleri verilmiştir.

Çizelge 6.3 : AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin boyuna kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.

AISI 304’ün Boyuna Kesiti	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
[AB] çapı boyunca yapılan ölçüm	401
[CD] çapı boyunca yapılan ölçüm	404



Şekil 6.9 : Boyuna kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi.



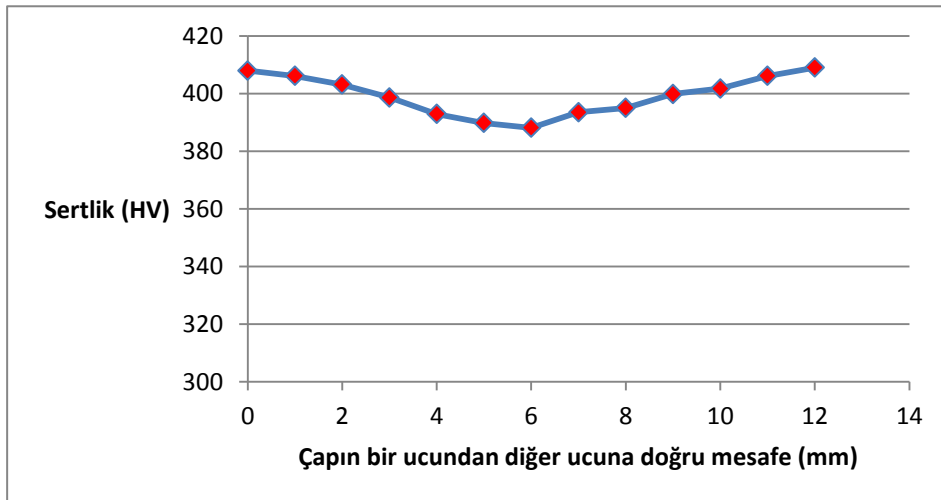
Şekil 6.10 : Boyuna kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi.

6.4.2.2 AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası enine kesitinin sertlik analizi

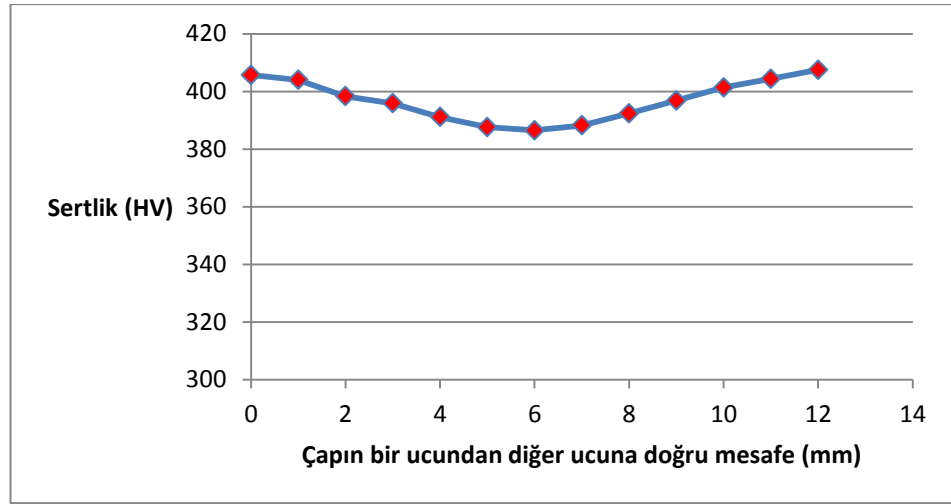
AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrasında enine kesitinin her iki çap boyunca ölçülen ortalama sertlik değeri 398 HV'dir. Deforme edilmemiş haline göre sertliğinde % 45'lik bir artış olmuştur (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12).

Çizelge 6.4 : AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin enine kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.

AISI 304'ün Enine Kesiti	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
[AB] çapı boyunca yapılan ölçüm	399
[CD] çapı boyunca yapılan ölçüm	397



Şekil 6.11 : Enine kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi.



Şekil 6.12 : Enine kesilmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi.

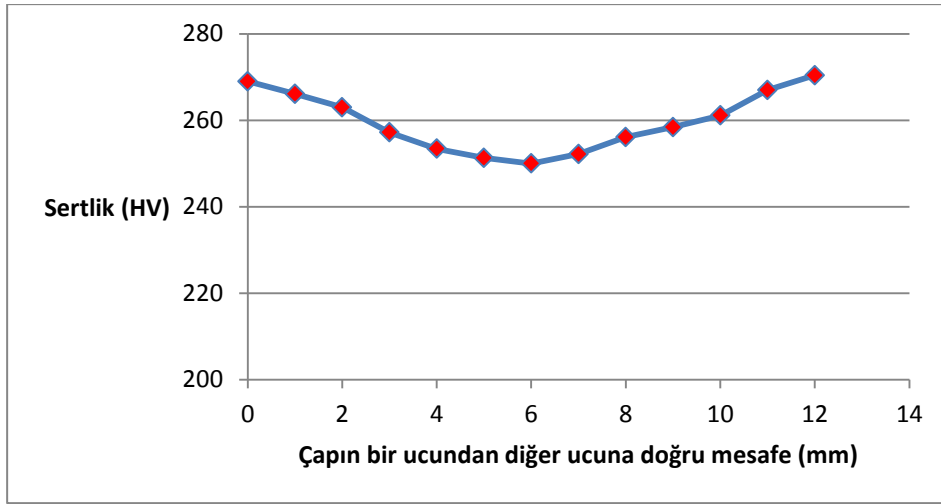
AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrasında % 36'lık deformasyon oranı ile sertliğinin yaklaşık 400 HV'ye çıktığı görülmektedir. Yapılan sertlik incelemeleri sonucunda malzemenin yüzeye yakın bölgelerindeki sertlik değerleri malzemenin merkezine göre daha yüksek çıkmıştır. Bu bölgelerde deformasyonun etkisi daha yüksek olmaktadır. Malzemenin her noktasında deformasyon oranı aynı olmamaktadır.

6.4.2.3 AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası boyuna kesitinin sertlik analizi

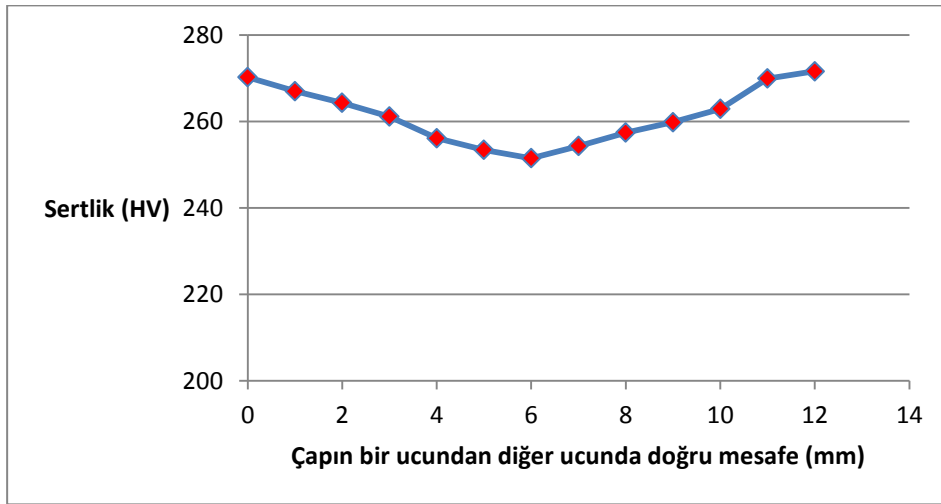
AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrasında boyuna kesitinin her iki çap boyunca ölçülen ortalama sertlik değeri 260 HV'dir. Deforme edilmemiş haline göre sertliğinde % 21,5'lik bir artış olmuştur (Şekil 6.13 ve Şekil 6.14).

Çizelge 6.5 : AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin boyuna kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.

AISI 430'un Boyuna Kesiti	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
[AB] çapı boyunca yapılan ölçüm	259
[CD] çapı boyunca yapılan ölçüm	261



Şekil 6.13 : Boyuna kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi.



Şekil 6.14 : Boyuna kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi.

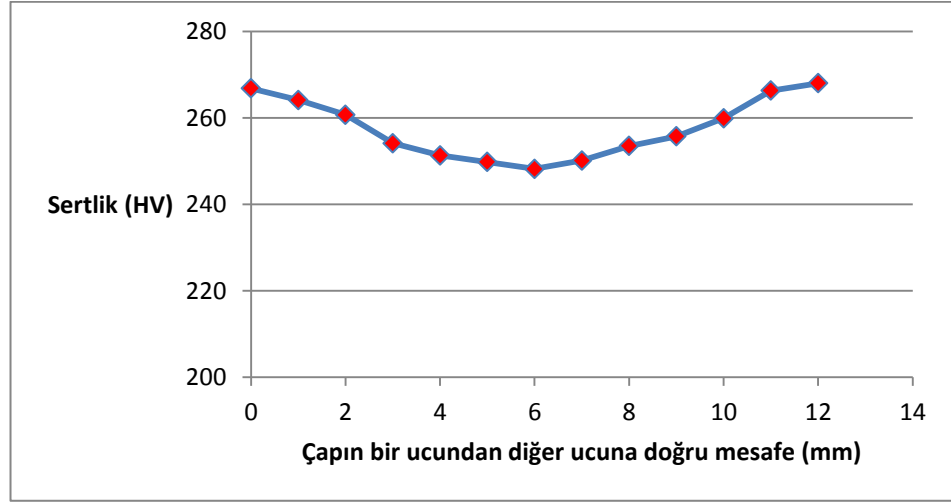
6.4.2.4 AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrası enine kesitinin sertlik analizi

AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin basma işlemi sonrasında enine kesitinin her iki çap boyunca ölçülen ortalama sertlik değeri 256,5 HV'dir. Deforme edilmemiş haline göre sertliğinde % 20'lik bir artış olmuştur.

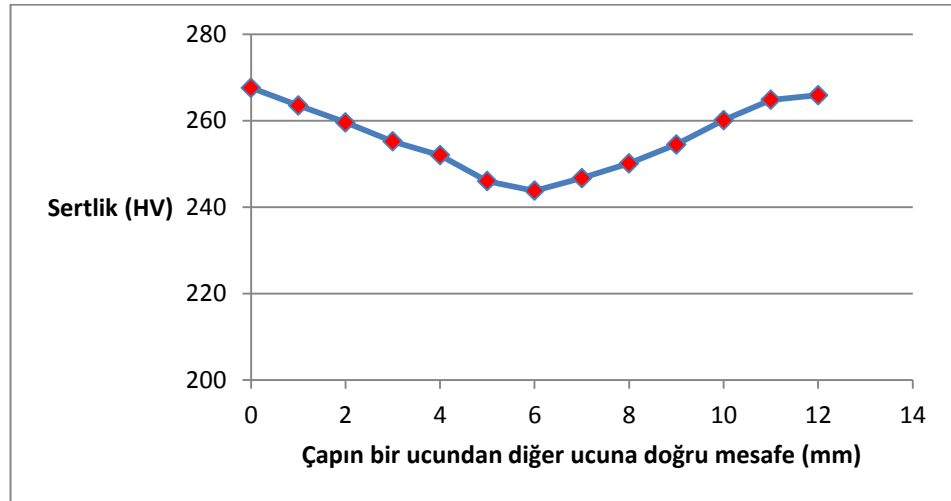
Çizelge 6.6 : AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin enine kesitinin farklı çap doğrultularında ölçülen ortalama sertlik değerleri.

AISI 430'un Enine Kesiti	Ortalama Sertlik Değeri (HV)
[AB] çapı boyunca yapılan ölçüm	257
[CD] çapı boyunca yapılan ölçüm	256

Şekil 6.15'te ve Şekil 6.16'da, AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin enine kesitinin basma işlemi sonrasında farklı çap doğrultularındaki sertlik değişimleri verilmiştir.

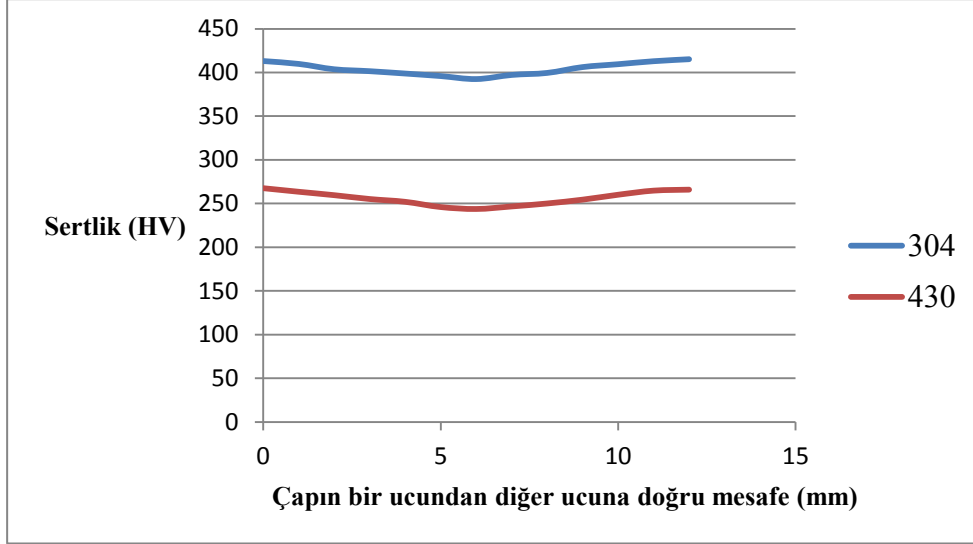


Şekil 6.15 : Enine kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [AB] çapı boyunca sertlik incelemesi.



Şekil 6.16 : Enine kesilmiş AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin [CD] çapı boyunca sertlik incelemesi.

AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelik için yapılan sertlik incelemelerinde sertliğin AISI 304'e göre daha az arttığı sonucuna varılmıştır. AISI 430 deformasyon işlemiyle daha az pekleşmektedir. Fakat AISI 304'te olduğu gibi AISI 430 için yapılan sertlik analizlerinde de malzemenin yüzeye yakın bölgelerindeki sertliğin daha fazla olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde deformasyonun etkileri daha fazladır. Bölgeler arası farklılıklar AISI 430 için de geçerlidir. Şekil 6.17 basma işlemi sonrasında, her iki kalite paslanmaz çeliklerdeki sertlik değişimlerini göstermektedir.



Şekil 6.17 : Basma işlemi sonrası çap boyunca ölçülen AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değişimleri.

Şekil 6.17’de açıkça görülmektedir ki, basma işlemi sonrasında AISI 304 daha fazla pekleşmektedir ve her iki kalite paslanmaz çelik için de sertlik yüzeye doğru artmaktadır.

6.5 Çekme İşleminin Sonuçları

Başlangıç çapları 10 mm olan östenitik ve ferritik çubuklar çekme işlemi sonrası (soğuk deformasyon) çeşitli oranlarda deformasyona uğramışlardır. Malzemelerin boyun verdiği yani en fazla deformasyona uğradığı bölgelerde çap 6,6 mm’ye kadar azalmıştır. Böylece soğuk deformasyon oranı bu bölgelerde % 83 olarak ölçülmüştür.

$$\begin{aligned} \% \text{ Deformasyon Oranı} &= \ln \frac{\pi \cdot 5^2}{\pi \cdot (3,3)^2} \times 100 \\ &= \% 83 \end{aligned} \quad (6.2)$$

Boyun noktasından uzaklaştıkça deformasyon oranı azalmaktadır. En yüksek çap 9 mm olarak ölçülmüştür. Bu noktadaki deformasyon oranı yaklaşık % 20’dir.

$$\begin{aligned} \% \text{ Deformasyon Oranı} &= \ln \frac{\pi \cdot 5^2}{\pi \cdot (4,5)^2} \times 100 \\ &= \% 20 \end{aligned} \quad (6.3)$$

Çekme işlemi sonrası paslanmaz çelik çubukta meydana gelen değişiklik Şekil 6.18'deki gibidir;



Şekil 6.18 : Çekme işlemi sonrası paslanmaz çelik çubuktaki değişim.

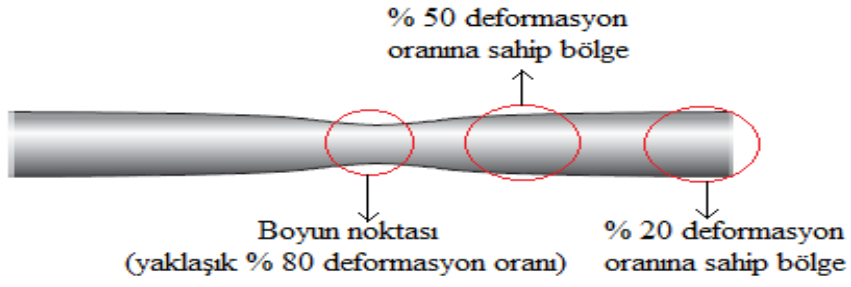
Şekil 6.18'deki paslanmaz çelik çubuktaki boyun oluşumu açıkça görülmektedir. Bu bölgede deformasyon oranı % 83'e kadar çıkmaktadır. Bu bölgeden boyuna kesiti alınan numuneler incelenmek üzere metalografik olarak hazırlanmıştır ve Şekil 6.19'daki gibi kalıplanmıştır.



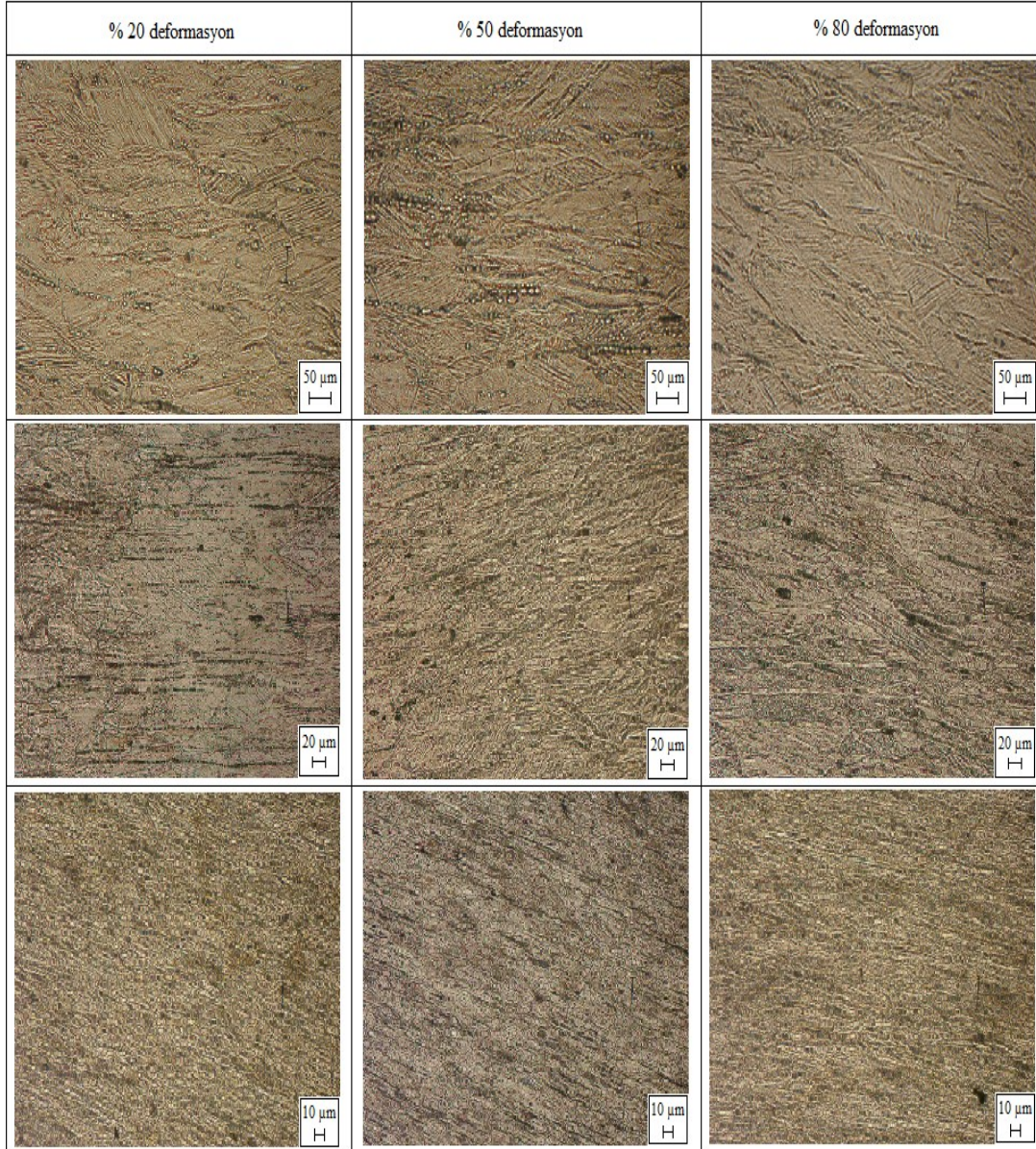
Şekil 6.19 : Çekme işlemi sonrası boyuna kesiti alınan paslanmaz çelik çubuğun bakalite alınmış hali.

6.5.1 Çekme işlemi sonrası metalografik çalışma sonuçları

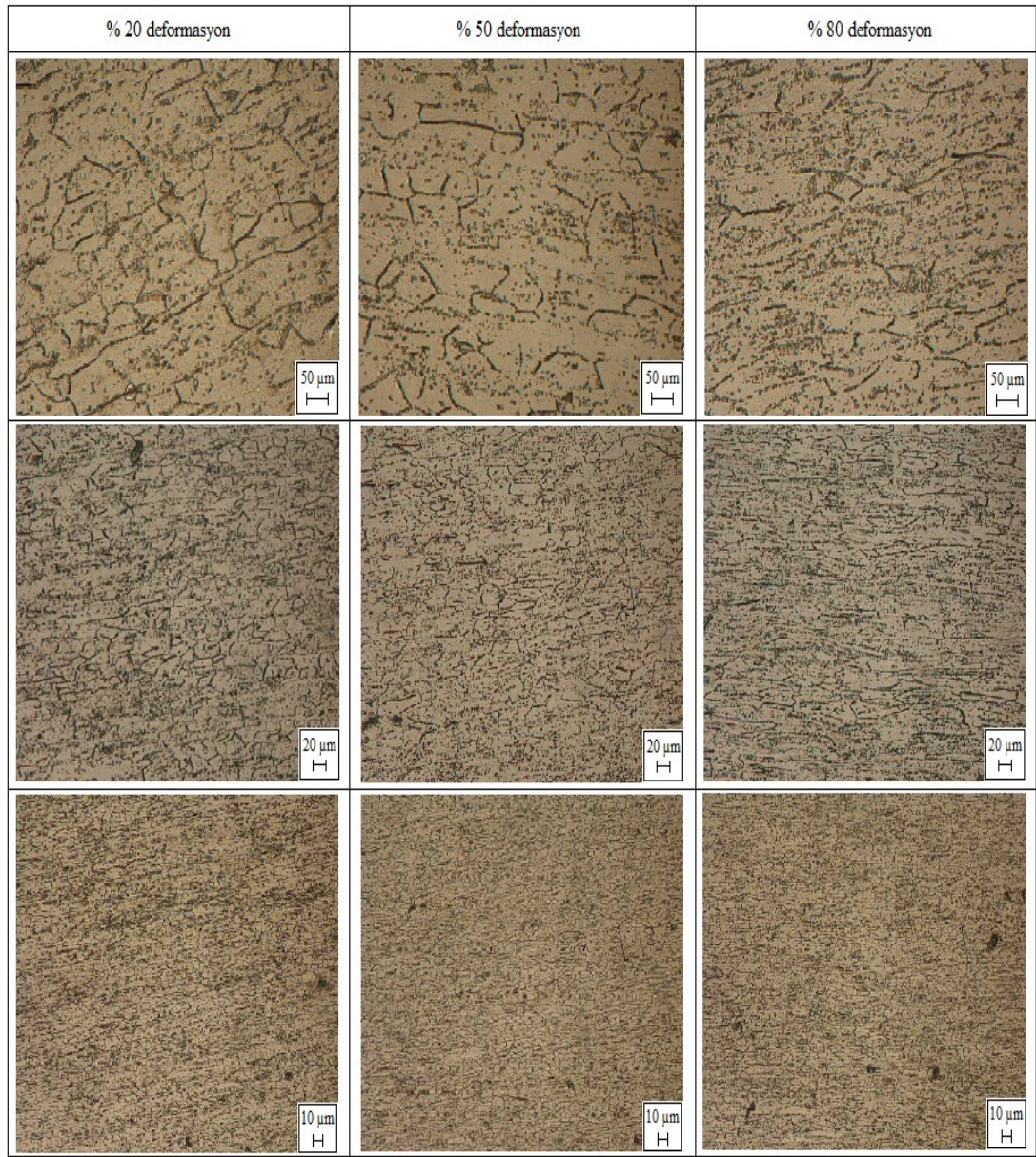
Mikroyapı incelemesi yaparken AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik çubukların farklı deformasyon oranlarındaki mikroskop görüntüleri incelenmiştir. Deformasyon oranlarına bağlı olarak mikroyapılar farklılıklar göstermiştir. Şekil 6.20'de çekme işlemi sonrası metalografik olarak incelenen bölgeler gösterilmektedir. Farklı büyütmelerde ve deformasyon oranlarında incelenen mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.21'de ve Şekil 6.22'de verilmektedir.



Şekil 6.20 : Çekme işlemi sonrası metalografik inceleme yapılan bölgeler.

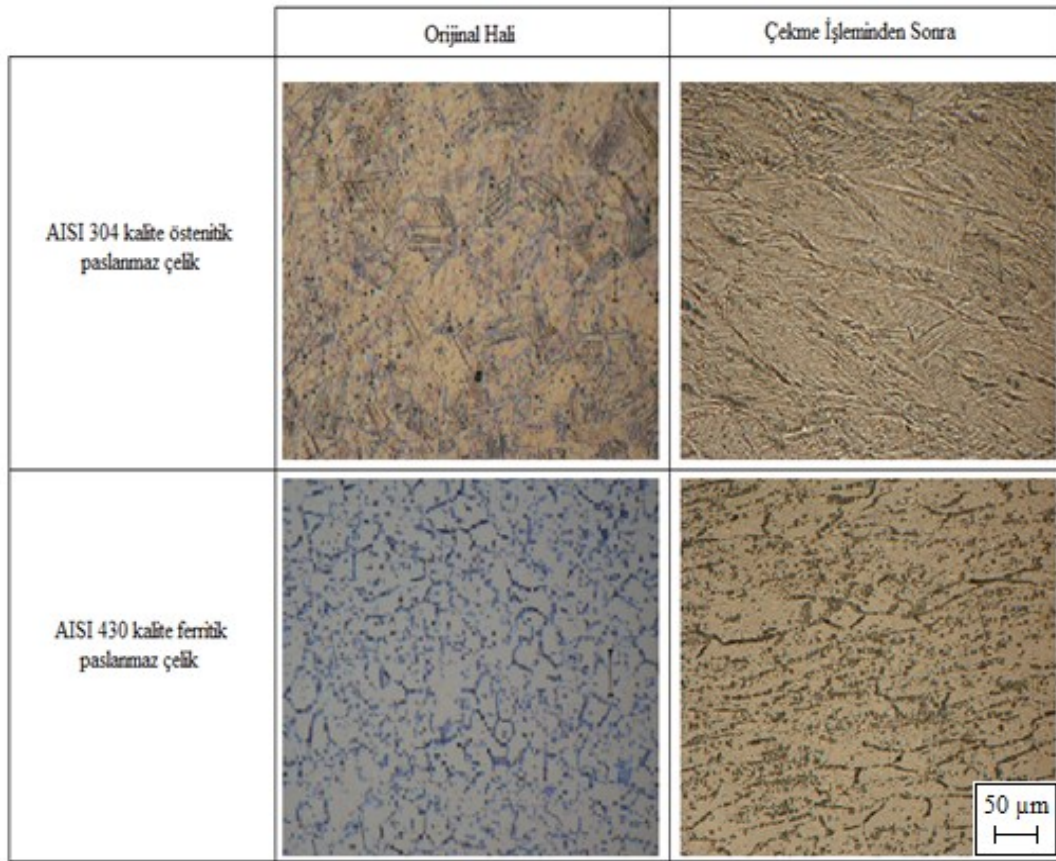


Şekil 6.21 : Çekme işlemi sonrası farklı deformasyon oranlarındaki AISI 304'ün mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.22 : Çekme işlemi sonrası farklı deformasyon oranlarındaki AISI 430'un mikroyapı görüntüleri.

Farklı oranlarda deforme edilmiş AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin farklı büyütmelerdeki ışık mikroskobu mikroyapı fotoğraflarından, deformasyon oranı arttıkça tanelerin çekme yönünde uzadığı görülmektedir. Şekil 6.23'te AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin orijinal mikroyapı fotoğrafları ile çekme işlemi sonrasındaki mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. AISI 304 kalite paslanmaz çeliğin mikroyapısında, γ (östenit) taneleri içerisinde α' martenzit fazı yer almaktadır.

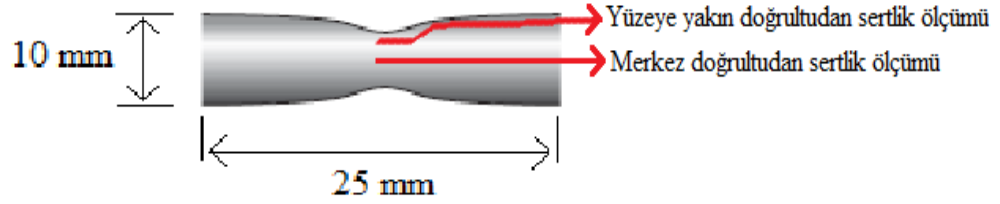


Şekil 6.23 : AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin orijinal ve çekme sonrası mikroyapı görüntülerinin karşılaştırılması.

Çekme işleminden sonra tanelerin çekme yönünde uzadıkları görülmektedir. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin çekme işleminden sonraki mikroyapısı orijinal haline göre daha fazla değişikliğe uğramıştır. Ayrıca AISI 304'ün orijinal mikroyapısındaki karbür çökeltilerinin deforme edildikten sonra azaldığı görülmektedir. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısında α' martenzit fazı bulunmaktadır. AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin orijinal mikroyapısındaki eş eksenli taneler, çekme işlemi sonrası yerini düzensiz ve çekme yönünde uzamış tanelere bırakmıştır.

6.5.2 Çekme işlemi sonrası sertlik sonuçları

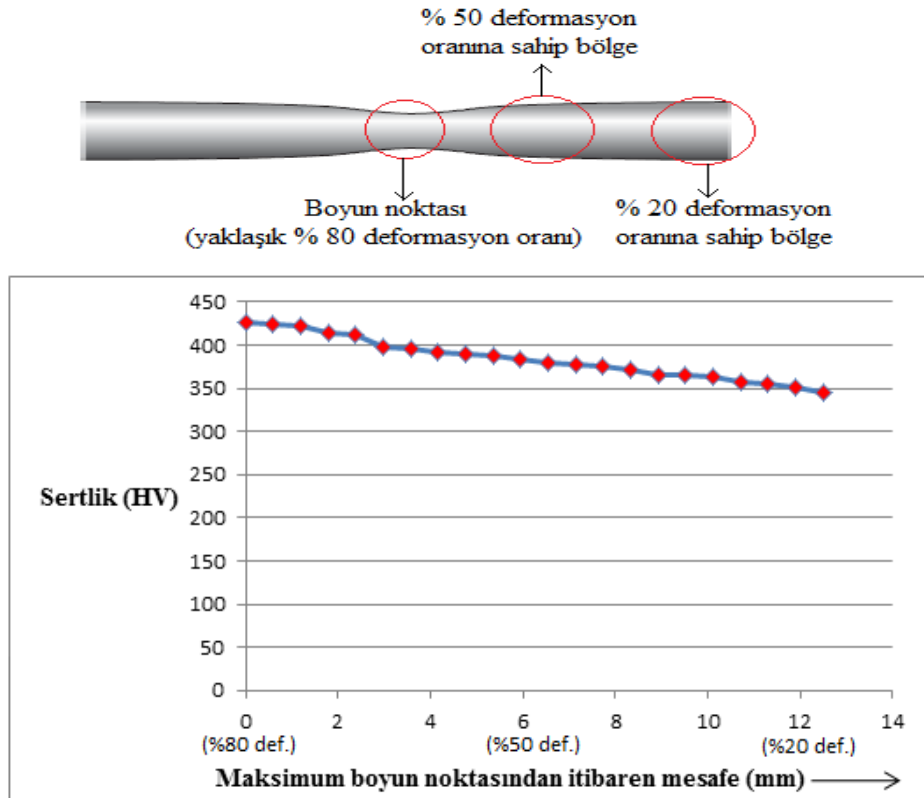
Sertlik ölçümlerinde paslanmaz çelik malzemeler farklı oranlarda deformasyona maruz kaldıkları için maksimum boyun noktasından en az deformasyon oranına sahip bölgeye doğru sertlik ölçülmüştür (Şekil 6.24). Deformasyon oranlarındaki değişime bağlı olarak boyun noktası (maksimum deformasyon bölgesi) ile minimum deformasyon oranına sahip bölge arasında sertlik analizi yapılarak AISI 304 ile AISI 430 arasındaki pekleşme özellikleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.24 : Çekme işleminden sonra farklı sertlik ölçme doğrultuları.

6.5.2.1 Çekme işlemi sonrası AISI 304 için sertlik sonuçları

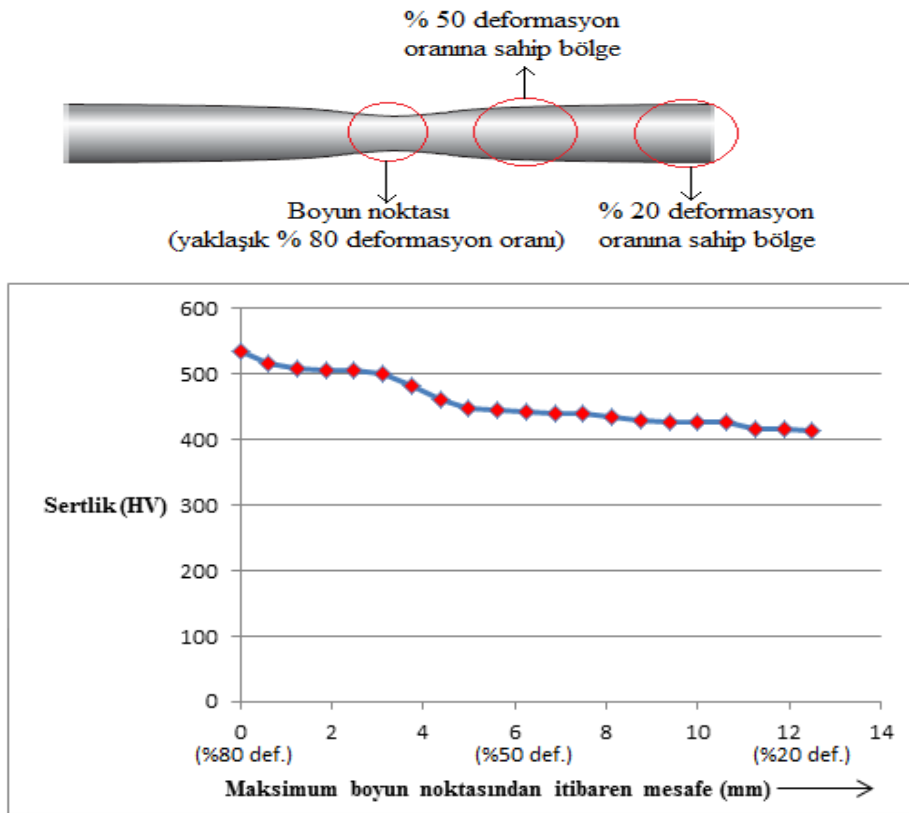
Çekme işlemi sonrasında AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikteki sertlik değişimleri Şekil 6.25'te ve Şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.25 : AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin merkez doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi.

- Şekil 6.25'te görüldüğü gibi malzemenin boyun verdiği noktadan uzaklaştıkça sertlikte belirgin bir azalma olmaktadır. Çünkü boyun oluşan yer daha fazla deforme olduğu için (% 83) sertlik bu bölgede daha fazla olmaktadır.
- Malzemenin boyun verdiği yerden 12,5 mm uzaklığına kadar yapılan ölçümler sonucu ortalama sertlik değeri 383,15 HV olmuştur.

- Deforme olmamış AISI 304 paslanmaz çeliğin sertliği 274 HV iken, çekme sonucu ölçülen sertlik değeri yaklaşık % 40 artmıştır.

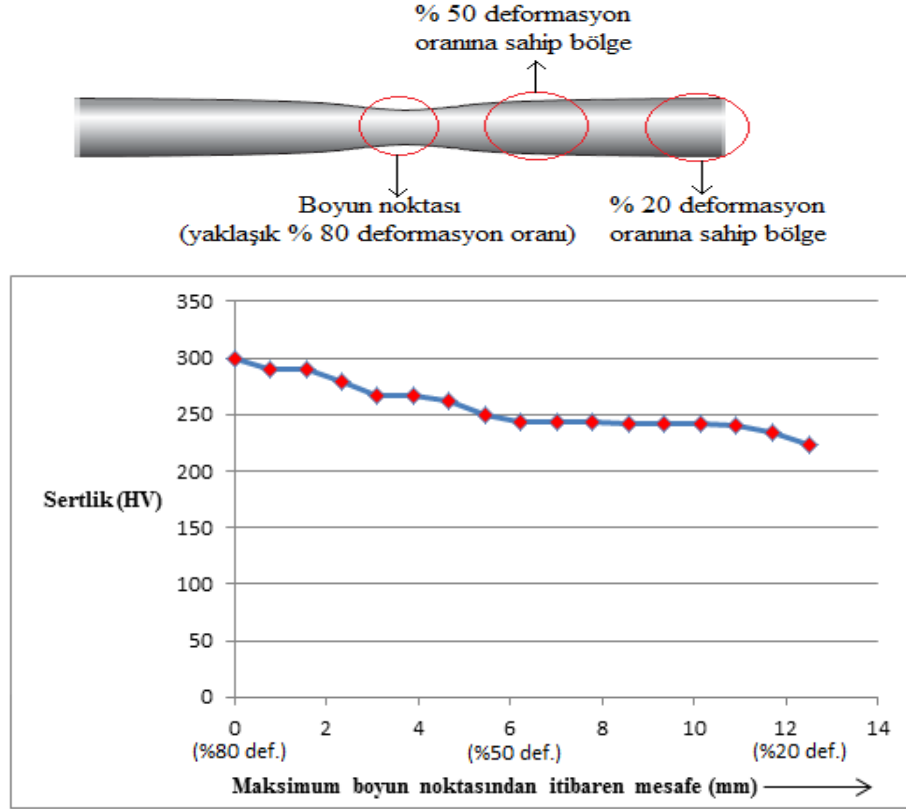


Şekil 6.26 : AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeye yakın doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi.

- Şekil 6.26’da görüldüğü gibi maksimum deformasyon bölgesinden uzaklaştıkça sertlik değerleri düşmektedir. Buradan, deformasyon oranı azaldıkça sertlik değerlerinin düştüğü sonucuna ulaşılmaktadır.
- Malzemenin boyun verdiği yerden 12,5 mm uzaklığına kadar yapılan ölçümler sonucu ortalama sertlik değeri 458,29 HV olmuştur.
- Deforme olmamış AISI 304 paslanmaz çeliğin sertliği 274 HV iken, çekme sonucu ölçülen sertlik değeri yaklaşık % 67 artmıştır.

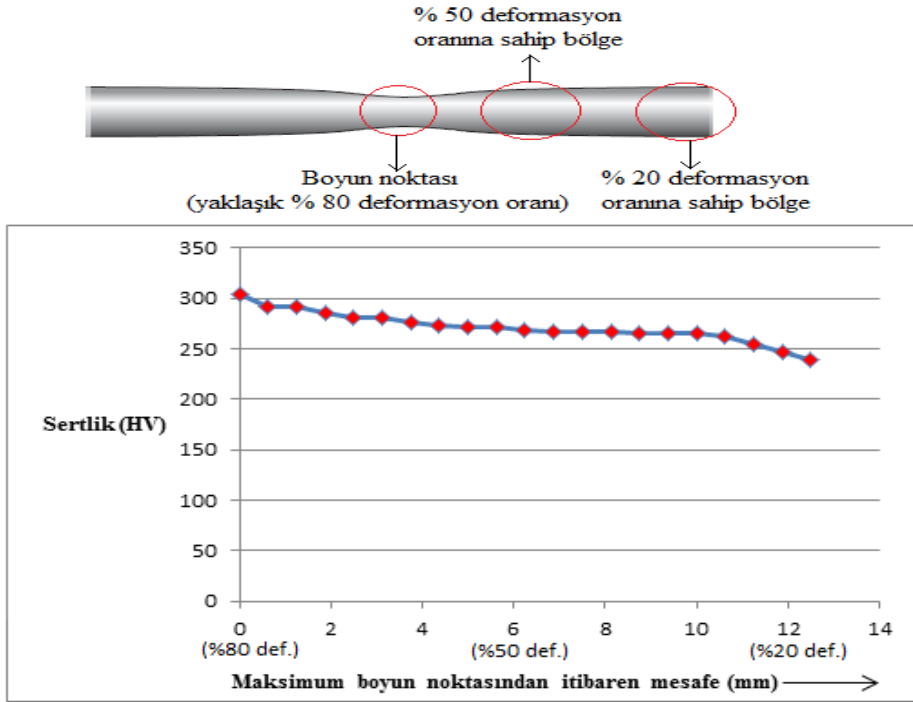
6.5.2.2 Çekme işlemi sonrası AISI 430 için sertlik sonuçları

Çekme işlemi sonrasında AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelikteki sertlik değişimleri Şekil 6.27’de ve Şekil 6.28’de verilmiştir.



Şekil 6.27 : AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin merkez doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi.

- AISI 304’te olduğu gibi AISI 430 için de sertlik değeri malzemenin boyun verdiği noktadan uzaklaştıkça azalmaktadır. Minimum sertlik değeri 223,8 HV iken maksimum sertlik değeri 299,5 HV olarak ölçülmüştür.
- AISI 430 ferritik paslanmaz çelik için ölçülen değerlerin ortalaması 256,25 HV olmuştur.
- Deforme olmamış AISI 430 paslanmaz çeliğin sertliği 214 HV iken, çekme sonucu ölçülen sertlik değeri yaklaşık % 19,7 artmıştır.



Şekil 6.28 : AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yüzeye yakın doğrultu boyunca maksimum boyun noktasından itibaren ölçülen sertlik değişimi.

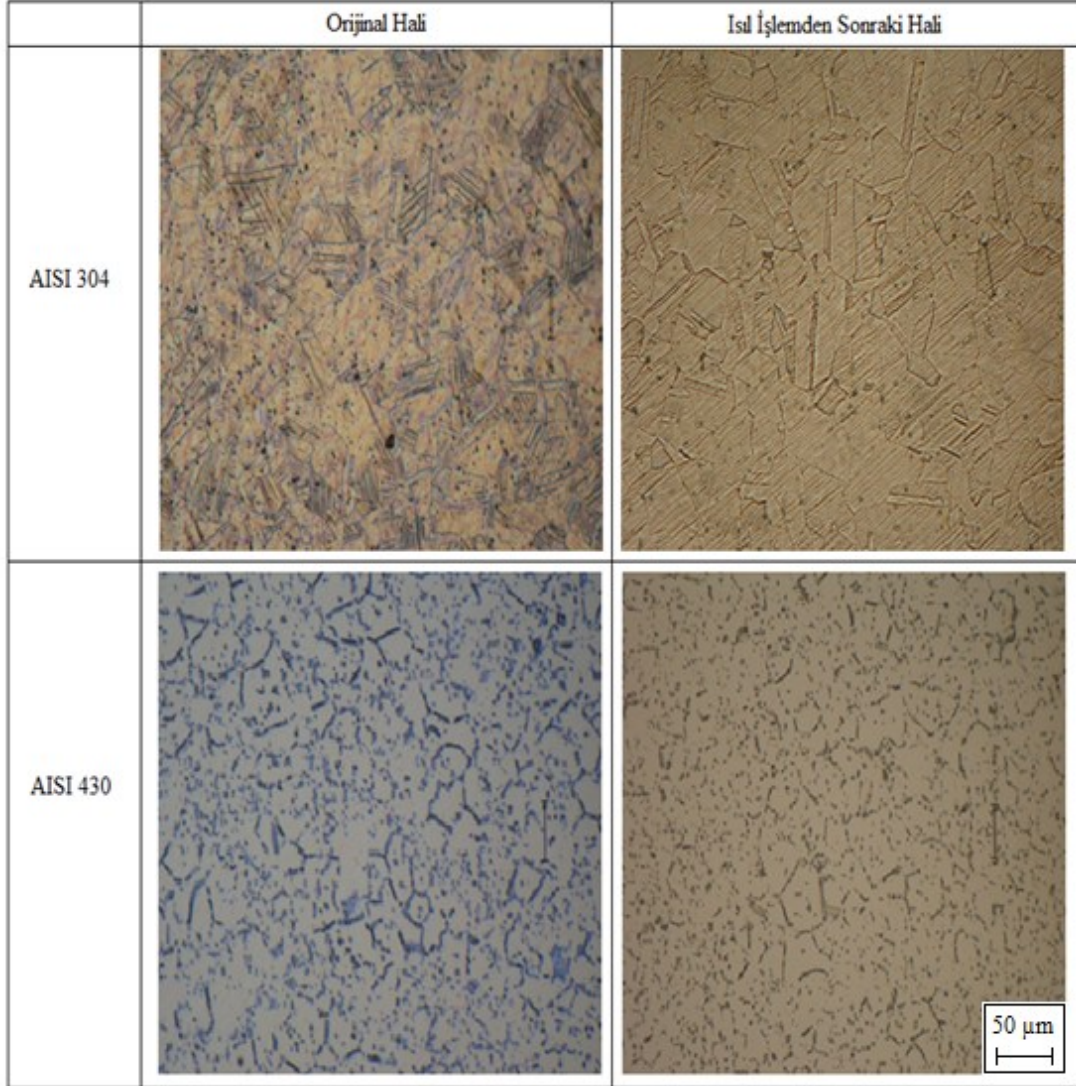
Çekme işlemi sonrasında yapılan sertlik incelemelerinde her iki kalite paslanmaz çeliğin sertliklerinin boyun noktasından uzaklaştıkça azaldığı görülmektedir. Ayrıca yüzeye yakın bölgelerden ölçülen sertlik değerlerinin merkezden ölçülen sertlik değerlerine göre daha yüksek çıktığı görülmektedir.

Çizelge 6.7 : Farklı deformasyon oranlarındaki AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri.

Deformasyon Oranı	Sertlik Değeri (HV)	
	AISI 304	AISI 430
% 0	274	214
% 20	345	239
% 40	408	261
% 60	446	282
% 80	480	301

6.6 Isıl İşlem Sonuçları

AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin tavlama sıcaklıkları sırasıyla 1060°C ve 760°C seçilmiştir. Fırında 1 saat bekletilen paslanmaz çelikler daha sonra suda soğutularak gerekli incelemeler yapılmıştır (Şekil 6.29).



Şekil 6.29 : Isıl işlem öncesi ve sonrası AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik mikroyapı görüntüleri.

Tavlama ısıl işlemi sonrasında mikroyapılarda pek fazla değişiklik olmamıştır. AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğin homojen olan yapısı tavlandıktan sonra da yapısını korumuştur. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin orijinal mikroyapısında görülen ikizlenmeler ısıl işlemten sonra da mevcuttur ancak çökelmiş karbürler azalmıştır. Tavlama sıcaklığının veya süresinin artırılmasıyla karbürler daha fazla çözölebilmektedir.

Metalografik çalışmalardan sonra yapılan sertlik analizlerinde seçilen tavlama sıcaklıklarının ve süresinin uygun olduğu görülmüştür. Her iki çeşit paslanmaz çeliğin de sertlik değerleri düşmüştür. Üretim aşamasında yapılan mekanik işlemlerin etkileri giderilmiştir.

Çizelge 6.8 : Isıl işlem öncesi ve sonrası AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri.

Paslanmaz Çelik Kalite	SERTLİK (HV)	
	Isıl İşlem Öncesi	Isıl İşlem Sonrası
AISI 304	274	188
AISI 430	214	178

Çizelge 6.9 : AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin tavllanmış haldeki sertlikleri ile farklı deformasyon oranlarındaki sertliklerinin karşılaştırılması.

Deformasyon Oranı	SERTLİK (HV)		Sertlik Artış Oranı	
	AISI 304	AISI 430	AISI 304	AISI 430
Tavllanmış	188	178	—	—
% 20	345	239	% 83,5	% 34,2
% 40	408	261	% 18,2	% 9,2
% 60	446	282	% 9,3	% 8
% 80	480	301	% 7,6	% 6,7

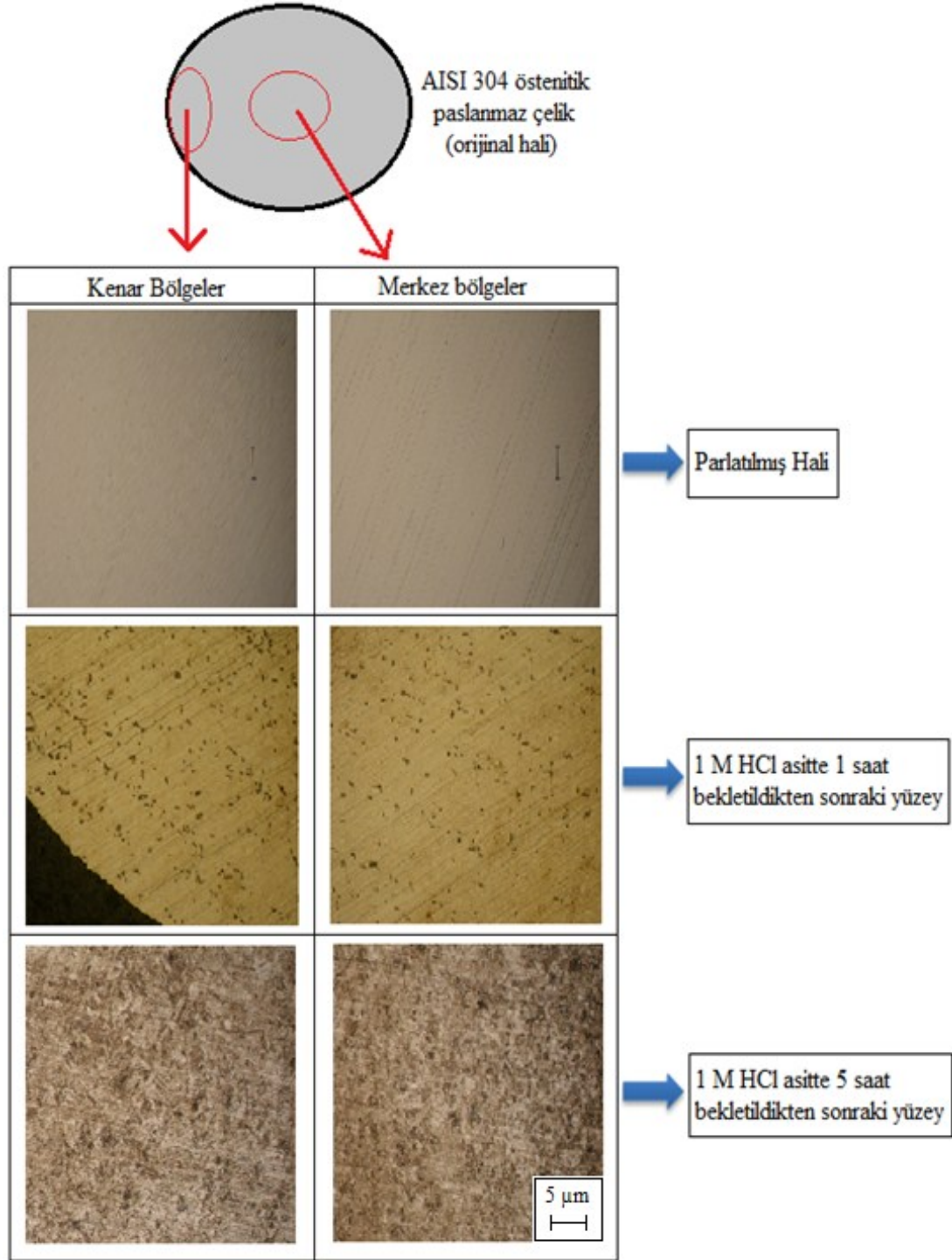
Artan deformasyon oranıyla şekil değiştirmesi daha kolay olan paslanmaz çelik türü AISI 304'tür. Ancak artan deformasyon miktarıyla her iki çeşit paslanmaz çeliğin de sertlikleri azalarak artmaktadır. Belli bir deformasyon oranından sonra artık soğuk işlemlerle malzemeleri sertleştirmek imkânsızdır.

6.7 Korozyon Sonuçları

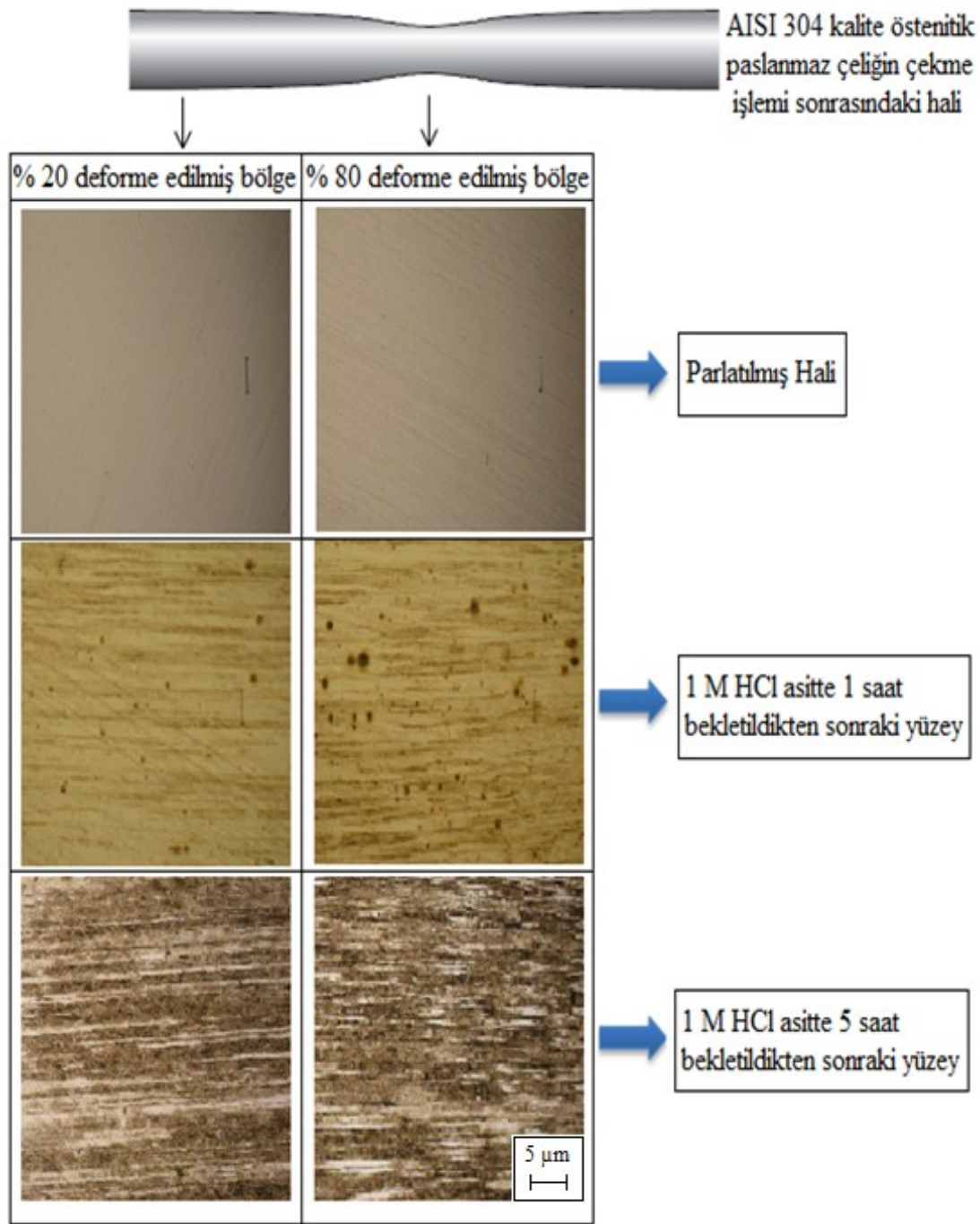
AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çelik numuneler 1 M HCl asitte farklı sürelerde bekletilerek korozyon davranışları belirlenmiştir. Ayrıca farklı deformasyon oranlarındaki korozyon davranışları da gözlemlenmiştir.

6.7.1 AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelik için korozyon analizi

1 M HCl asit ile yapılan hızlı korozyon testi sonrası, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin mikroyapılarındaki değişimler Şekil 6.30'da ve Şekil 6.31'de görülmektedir.



Şekil 6.30 : AISI 304'ün orijinal halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları.

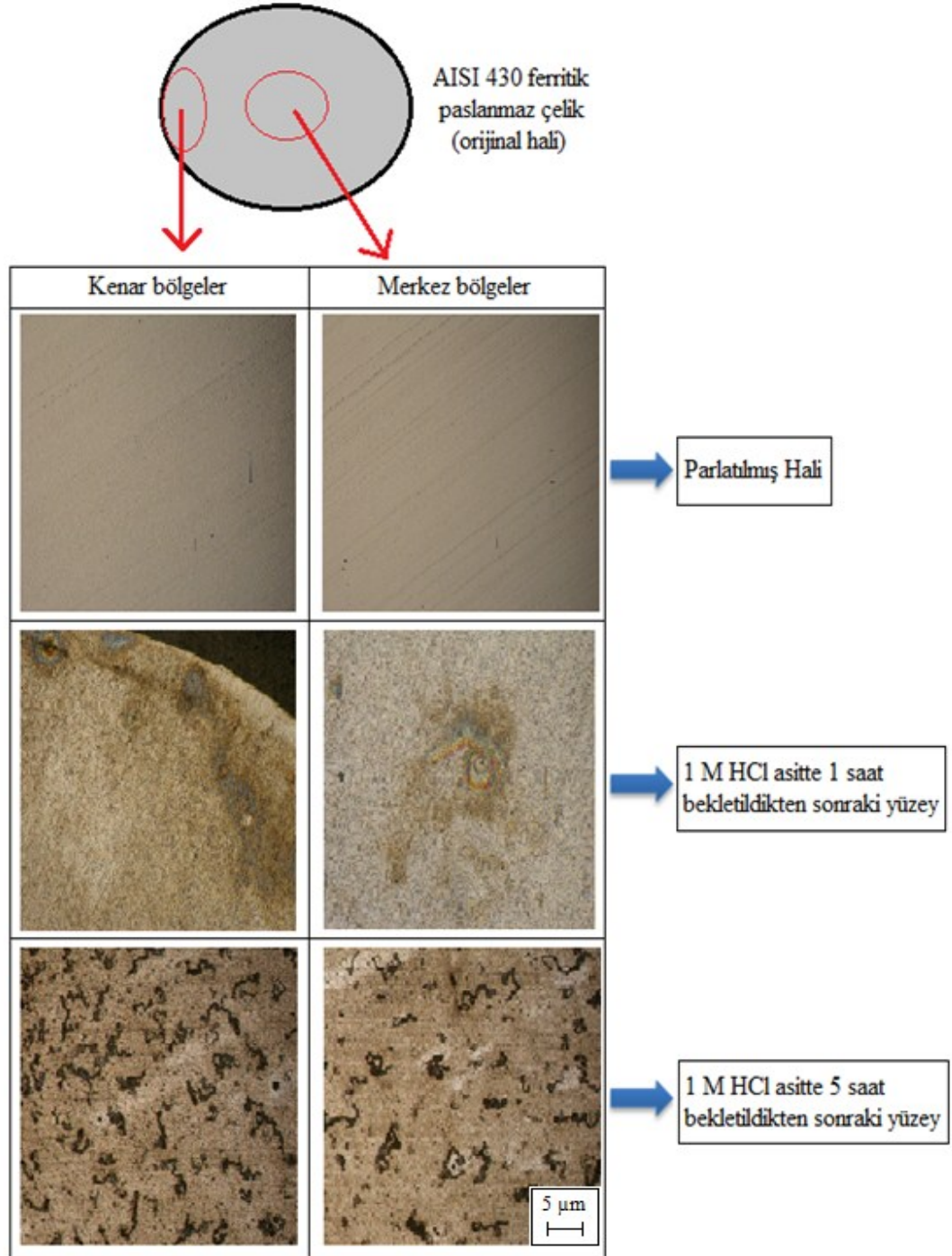


Şekil 6.31 : AISI 304'ün çekme işlemine uğramış halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları.

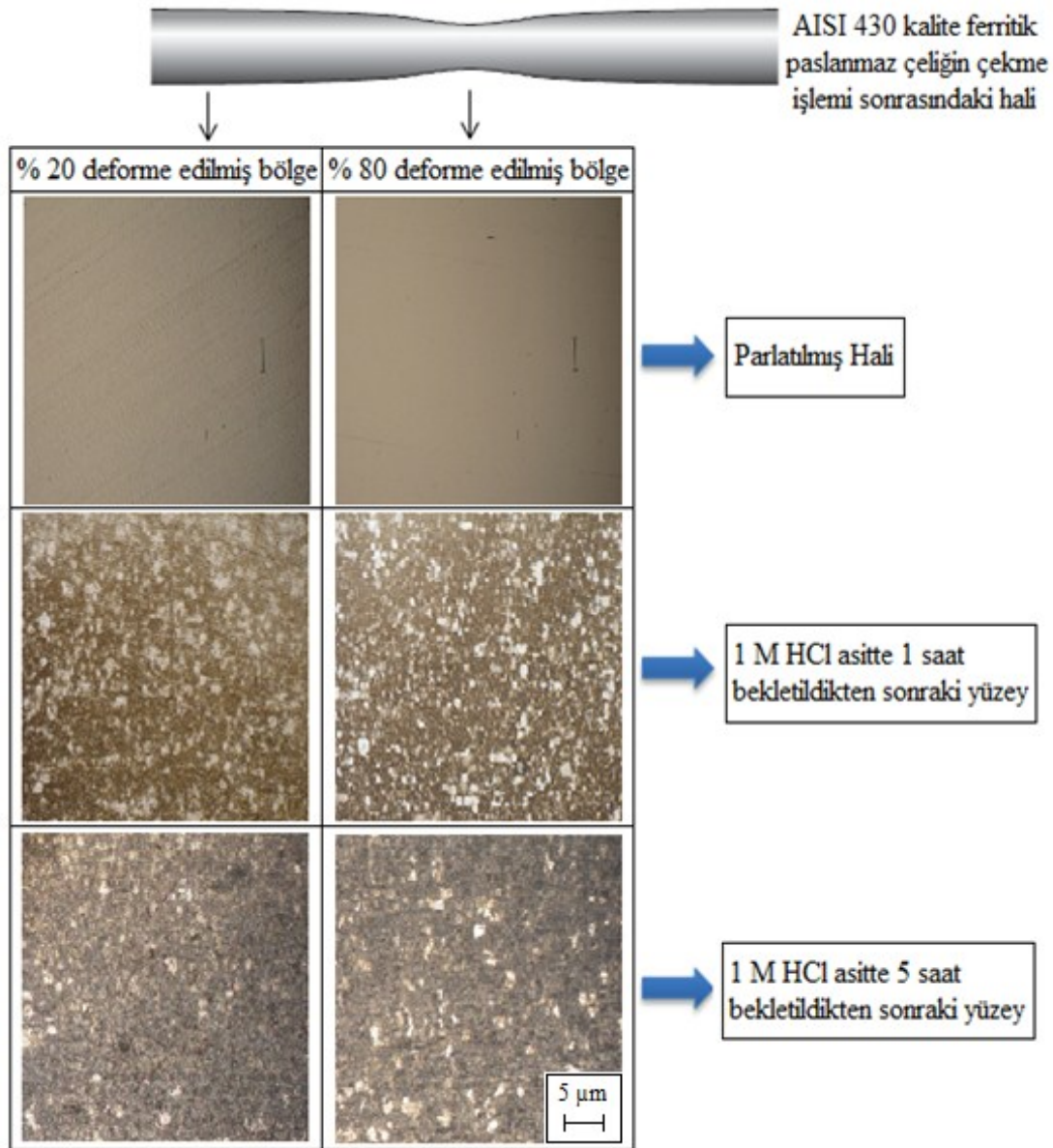
AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğe uygulanan korozyon testinden sonra, soğuk deforme edilmiş çeliğin daha fazla korozyona uğradığı görülmektedir. 1 saat HCl asit içerisinde bekletilen deforme edilmiş çelikte daha büyük oyuklar oluşmuştur. Deformasyon oranı arttıkça korozyon hızı artmıştır. % 80 deforme edilmiş bölgede korozyon hasarı daha fazla olmaktadır.

6.7.2 AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelik için korozyon analizi

1 M HCl asit ile yapılan hızlı korozyon testi sonrası, AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapılarındaki değişimler Şekil 6.32’de ve Şekil 6.33’te görülmektedir.



Şekil 6.32 : AISI 430’un orijinal halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları.



Şekil 6.33 : AISI 430'un çekme işlemine uğramış halinin 1 M HCl asitteki korozyon davranışları.

Yapılan korozyon analizlerinden sonra, deformasyon oranı arttıkça korozyon hızının arttığı görülmektedir. Malzemelerdeki korozyon hasarı daha düşük deformasyon oranına sahip bölgelerde daha azdır. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin korozyon dayanımı AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğe göre daha fazladır. Orijinal durumları incelenen paslanmaz çeliklerin kenar bölgelerinin merkez bölgelerine göre daha çabuk korozyona uğradıkları görülmüştür. Özellikle AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çelik çubuğun çekme işlemi yapılmış hali kısa sürede kullanılamaz hale gelmiştir. Her iki paslanmaz çelik türünün de HCl aside karşı dayanıksız oldukları görülmektedir. AISI 304 için korozyon oyuklanma şeklinde başlamaktadır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

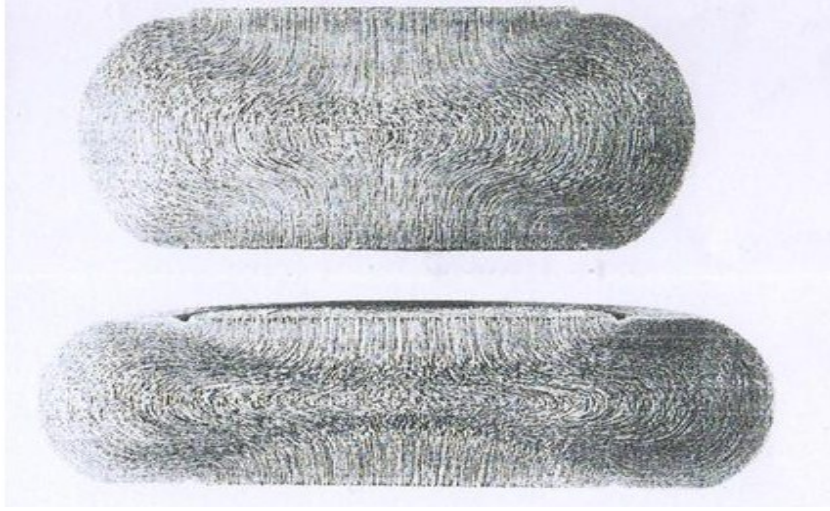
Deneylerde kullanılan paslanmaz çelik çubukların kimyasal bileşim analiz değerleri standartlarda verilen bileşim değerlerini karşılamaktadır. AISI 304'ün C oranı % 0,035'tir. Yani AISI 304L kaliteye yakın C içeriğine sahiptir. AISI 430'un ise C oranı % 0,04'tür.

Isıl işlem yapılmamış haldeki AISI 304 ve AISI 430 çeliklerin, akma gerilmesi ve çekme dayanımları standartlarda tavllanmış hal için verilen akma gerilmesi ve çekme dayanımı değerlerinden yüksektir. Isıl işlem yapılmamış halde AISI 304'ün hem akma gerilmesi ve hem de çekme dayanımı AISI 430'a göre yüksektir. Bu iki paslanmaz çelik kalitenin ısıtıl işlem yapılmamış haldeki çekme dayanımı-akma gerilmesi oranları 1,17 ve 1,15 değerlerindedir ve birbirine yakındır. Isıl işlem yapıldıktan sonra çeliklerin akma gerilmesi değerleri AISI 304 kalite çelikte 250 N/mm², AISI 430 kalite çelikte 320 N/mm² değerlerine düşmüştür. Çekme dayanımı-akma gerilmesi oranları da AISI 304 kalite çelikte 2,36 ve AISI 430 kalite çelikte 1,63 olmuştur. Yani, yapılan ısıtıl işlemle her iki kalite paslanmaz çeliğin çekme dayanımı-akma gerilmesi oranları artmıştır, AISI 304 kalite çelikte artış daha yüksektir. Bu sonuçlar satın alınan çeliklere soğuk deformasyon işlemi uygulanmış olduğunu göstermektedir. Soğuk işlemin etkisi AISI 304 kalite çelikte daha yüksektir.

Mikroyapı ve sertlik incelemelerinden elde edilen sonuçlar, artan deformasyon oranıyla AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikte tanelerin daha fazla uzadığını ve sertlik değerlerindeki artışın daha fazla olduğunu göstermektedir. Genel olarak çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılı olduğundan, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mukavemet değerlerinin daha fazla arttırılabileceği anlaşılmaktadır.

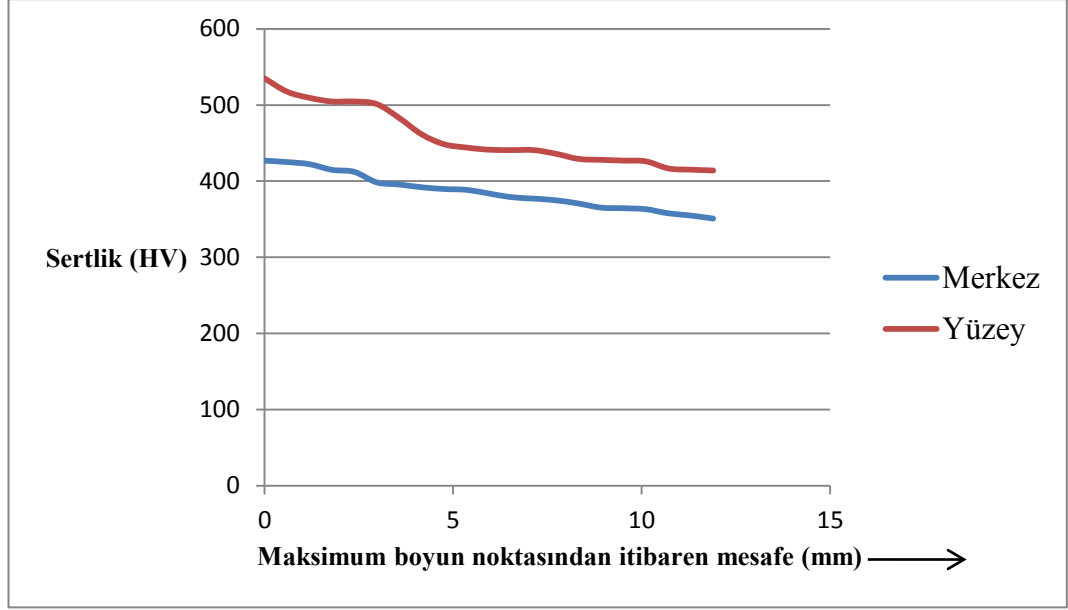
Basma işlemi sonrasında, enine ve boyuna kesitleri incelenen AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerde sertlik değerlerinin yüzeye doğru daha fazla arttığı görülmüştür. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sertlik değerleri daha fazladır. Bu

sonuçlar her iki tür paslanmaz çeliklerin yüzey ve yzeeye yakın bölgelerinin daha fazla ekil değiştirmiş olduğunu, tanelerin daha fazla uzadığını göstermektedir. Yüzey ve yzeeye yakın bölgelerde deformasyon yığılmaları ve malzeme akışı daha fazla olmaktadır. şekil 7.1’de deformasyonun malzemenin her bölgesinde aynı oranda olmadığını, yüzey ve yzeeye yakın bölgelerinde deformasyonun daha fazla olduğunu göstermektedir.



şekil 7.1 : elik bir silindirde homojen olmayan ekil değişimi (apan, 1999).

Çekme işlemi ile yapılan deformasyon sonrasındaki incelemeler, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin daha fazla pekleştiğini göstermiştir. AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikteki sertlik değişimi, aynı deformasyon oranındaki AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğe göre daha yüksektir. Artan deformasyon oranları ile paslanmaz çeliklerin sertlik değerleri azalarak artmaktadır. Sertlik değerleri maksimum deformasyon bölgesinden uzaklaştığa düşmektedir. Her durumda yzeeye yakın bölgelerden llen sertlik değerleri daha yüksektir (şekil 7.2). Bu sonuçlar her iki tür paslanmaz çeliklerin yüzey ve yzeeye yakın bölgelerinin daha fazla ekil değiştirmiş olduğunu, tanelerin daha fazla uzadığını göstermektedir. Ancak ekme işlemi sonrası mikroyapı analizlerinde tanelerin maksimum deformasyon bölgesinde (boyun bölgesinde) daha fazla uzadıkları görülmektedir. Soğuk deformasyonun etkisiyle γ (stenit) taneleri içerisinde α' martenzit fazı oluşmaktadır.



Şekil 7.2 : AISI 304'ün çekme işlemi sonrası merkezinden ve yüzeye yakın bölgesinden ölçülen sertlik değerleri.

Tavlama ısı işlemi uygulanan AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin ısı işlem sonrasındaki sertlik değerleri azalmıştır. Her iki paslanmaz çeliğin satın alındıkları haldeki sertlik değerlerinin, akma gerilmelerinin ve çekme dayanımlarının daha yüksek olması, bunlara üretim aşamasında soğuk işlem uygulanmış olduğunu göstermektedir. Yapılan tavlama ısı işlemi ile her iki çeliğin sertlik değerleri, akma gerilmesi ve çekme dayanımları literatürde verilen değerlere düşmüştür. Isıl işlem sonrası her iki paslanmaz çeliğin de mikroyapılarında fazla bir değişiklik olmamıştır. AISI 304'ün orijinal mikroyapısındaki çökelmiş karbürler azalmıştır.

1 M HCl asitle yapılan hızlı korozyon deneyleri, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin korozyon dayanımının AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğe göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Artan deformasyon oranıyla her iki kalite paslanmaz çeliğin korozyon dayanımları azalmaktadır. Kullanılan çeliklerin yüzeylerindeki korozyon hasarı ilk 1 saat içerisinde meydana gelmektedir. Bu sonuçlar AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliklerin HCl aside karşı dayanıksız olduklarını göstermektedir. Korozyon hasarı, AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliklerde oyuklanma korozyonu şeklinde başlamaktadır.

AISI 304 kalite östenitik paslanmaz ve AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliklerle yapılan çalışmalardan elde edilen yukarıda açıklanan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Her iki kalite paslanmaz çeliklerde deformasyon oranı arttıkça sertlik değerleri artmaktadır.
- Artan deformasyon oranıyla AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin sertlik değerleri daha fazla artmaktadır. Bu sonuç AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin mukavemet değerlerinin deformasyonla daha etkili şekilde geliştirilebileceğini göstermektedir.
- Paslanmaz eliklerin çekme dayanımı / akma gerilmesi oranı, soğuk deformasyon oranı arttıkça azalmıştır.
- Paslanmaz eliklerin sertlik değerlerindeki artış oranı, deformasyon oranı arttıkça düşmektedir.
- Soğuk deformasyona uğratılmış paslanmaz çeliklerin yüzey ve yüzeye yakın bölgelerdeki sertlik değerleri merkezlerine göre daha fazladır.
- Paslanmaz eliklerin soğuk deformasyon oranlarının artmasıyla mikroyapıdaki taneler daha fazla ekil değiştirmektedir. Yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde taneler deformasyon yönünde daha fazla uzamaktadır.
- Soğuk deformasyon ile AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çelikte α' martenzit fazı oluşmaktadır.
- Tavlama ısıı işleminden sonra paslanmaz çeliklerin sertlikleri azalmıştır.
- AISI 304 kalite östenitik paslanmaz çeliğin, hızlı korozyon dayanımı AISI 430 kalite ferritik paslanmaz çeliğe göre daha yüksektir.
- Paslanmaz eliklerin soğuk deformasyon oranları arttıkça korozyon dayanımları düşmektedir. Yüzey ve yüzeye yakın bölgelerde korozyon hasarı daha fazladır.

KAYNAKLAR

- Abington Publishing**, (1994) Welding Metallurgy of Stainless Steels, Abington Welding Training Module, Cambridge, pp. 1-45.
- Açma, E.** (1998) Paslanmaz Çeliklerde Korozyon Türleri ve Saptanması, Metalurji, Sayı:115, İstanbul, s. 53-54.
- Anık, S.** (1970) Kaynak Tekniğinde Schaeffler Diyagramının Kullanılması, Kaynak Tekniği, Oerlikon Yayınları, 10 s.
- Aran, A. ve Temel M.A.** (2003) Paslanmaz Çelik Yası Mamuller, Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 165 s.
- Baylan, O.** (2004) Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik-Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı ile Özellikler Arasında İlişkinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak, s. 3-33.
- Castner, H.R.** (1992) Material and Procedure Considerations for Welded Austenitic Stainless Steels, 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, Ohio, pp. 1-6.
- Ceyhun, V.** (1992) Ferritik Ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme-Makaslama Dayanımına Ve Taneler Arası Korozyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 1-50.
- Çapan, L.** (1999) “Metallere Plastik Şekil Verme”, Çağlayan Kitabevi.
- Dieter G E** (19..), Workability Testing Techniques, ASM Yayını, Chapter 7, Ohio.
- Dupont J.N., Banovic, S.W. and Marder A.r.** (2003) Microstructural Evolution And Weldability Of Dissimilar Welds Between A Supper Austenitic Stainless Steel And Nickel-Based Alloys, Welding Journal, pp. 125-135.
- Erdoğan, M.** (2000) Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Cilt I, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 169 s.
- Gooch, T.** (1992) Welding Behaviour and Weldability of Superaustenitic Stainless Steels, 8th Annual North American Welding Research Conference, TWI, Cambridge UK, pp. 1-3.
- Gürleyik, M.Y.** (1988) Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, Kuzey Gazetecilik Matbaacılık ve Ambalaj Sanayi A.S., Trabzon, 105 s.
- Hedayati Ali, A. N.** (2010). The effect of cold rolling regime on microstructure and mechanical properties of. Journal of Materials Processing Technology, 1017-1022.

- Kaçar, R.** (1997) Hydrogen in Duplex Stainless Steel Welds, Ph.D. Thesis, University of Leeds, pp. 23-24.
- Kaluç, E. ve Sarı, N.Y.** (1995), Duplex ve Süper Duplex Paslanmaz Çelikler ve Kaynağı, Mühendis ve Makine Aylık Teknik Dergisi, Sayı 424, Ankara, 15 s.
- Kaluç, E. ve Tülbentçi, K.** (1995) Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanabilirliği Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, 201 s.
- Kaluç E. ve Tülbentçi K.** (1998) “paslanmaz çeliklerin kaynağı”, kocaeli üniversitesi kaynak teknolojisi, eğitim ve uygulama merkezi, Kocaeli.
- Kanbolu, S.** (1996) Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri., Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 73s.
- Kayalı, E. S., Ensari, C.,** Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları İTÜ, 2000.
- Kıyıcı, H. K.** (1994) Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrotla Ark Kaynağında Parametrelerin Bilgisayarla Tespiti, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s. 14-29.
- Koydul, H.** (1994) 316L Paslanmaz Çelik Thompson Protezinin Ringer Solisyonu İçindeki Yorulma Korozyonu, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, s. 1-10.
- Kölük, F.** (2000) Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Isı Tesiri Altında Kalan Bölgeye Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 14-46.
- Kuşutan, G.** (2003) Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynağında Soğuma Hızının Birleştirmenin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 3-63.
- Lippold, J.C.** (1992) Recent Developments in The Welding and Weldability of Austenitic Stainless Steels, 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, Ohio, U.S.A. pp. 1-7.
- Milad M., N. Z.** (2008). The effect of cold work on structure and properties of. journal of materials processing technology, 80-85.
- Odabaş, C.** (2002) Paslanmaz Çelikler, As Kaynak Yayınları, 1.Baskı, İstanbul, 13 s.
- Önal, E.** (1997) Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Schaeffler, De Long ve WRC 92 Diyagramlarının İncelenmesi, Y.Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, s. 8-50.
- Savaşkan, T.** (2004) Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Malzeme Bilimleri Anabilim Dalı Trabzon.
- Serfiçeli, Y.S.** (2000) Malzeme Bilgisi, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 234 s.

Şeşen, M. K., (2011) “Paslanmaz Çelik Ders Notları, İTÜ”.

Tülbentçi, K. (1985) Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Böhler Kaynak Dünyası, Sayı:11, 10 s.

Url-1 <<http://www.gozdempaslanmaz.com>> alındığı tarih 03.03.2012.

Url-2 <<http://www.bircelik.com>> alındığı tarih 10.03.2012.

Url-3 <<http://www.steelinox.nl>> alındığı tarih 22.03.2012.

Ün H. (2007) Pamukkale üniversitesi inşaat mühendisliği metallerde ergime ve kristalleşme ders notları.

Varol, R., 1995. Az Karbonlu Çeliklerde Tel Çekme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23-29.

Wang, H.S., Yang, J.R. and Bhadeshia D.H (2005) Characterisation Of Severely Deformed Austenitic Stainless Steel Wire, Materials Science And Technology, Vol21, June, pp. 11-21.

Woollin, P. (1994) Developments in Fusion Welding of Stainless Steels, Welding&Metal Fabrication, Cambridge, January, pp. 18-26.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: TAHİR OSMANOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: EMİNÖNÜ / 17.09.1988

E-mail Adresi: tahir6161@hotmail.com

Lise: Yeşilköy Anadolu Lisesi

Lisans: YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ (2010)

Yüksek Lisans: İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ (2012)

Staj Yaptığı Yerler: GEDİK DÖKÜM VE VANA A.Ş.

ARMASAN VAKUM AMBALAJ LTD. ŞTİ.